



ASTRONOMIA POPULAR

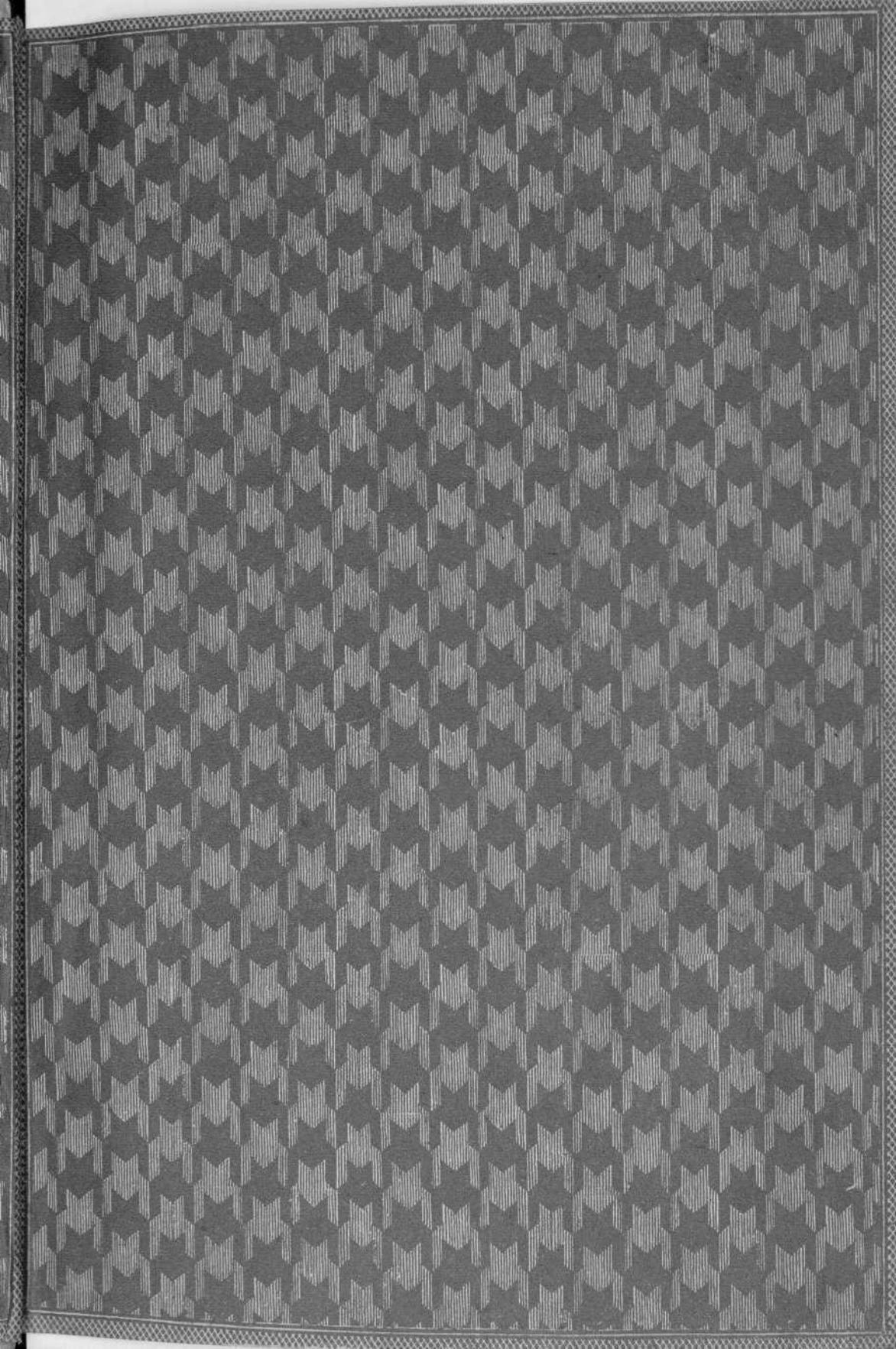
J. ROCA

ENRIBES

52

FA.10152

~~11065~~

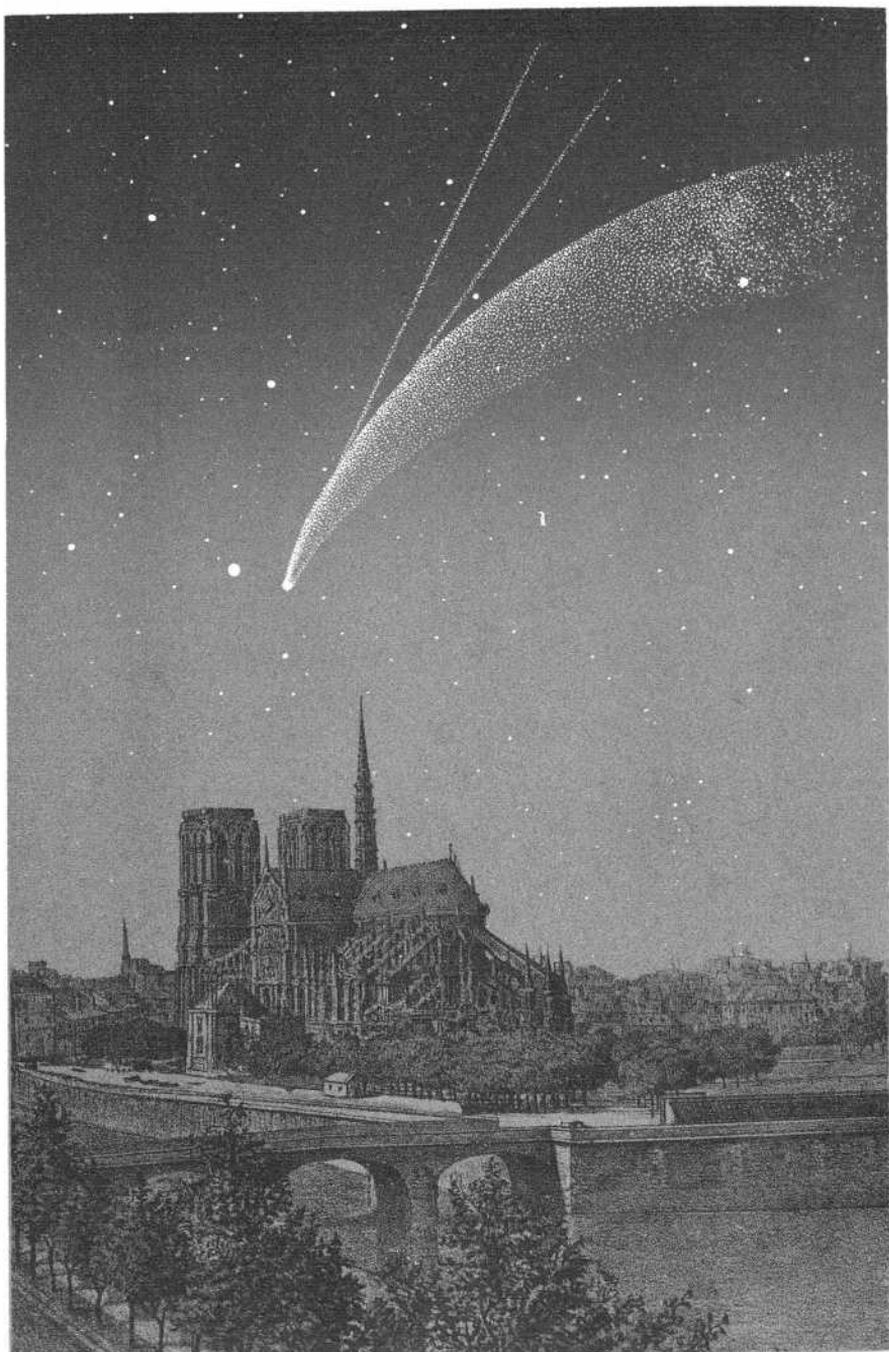


11065

ASTRONOMÍA POPULAR







COMETA DE DONATI, VISTO EN PARÍS EL 4 DE OCTUBRE DE 1858.

ASTRONOMÍA

POPULAR

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CIELO

NUEVA EDICIÓN REFUNDIDA DE LA OBRA EL TELESCOPIO MODERNO
CON INCLUSIÓN DE LOS MÁS MODERNOS DESCUBRIMIENTOS

POR

AUGUSTO T. ARCIMIS

DE LA REAL SOCIEDAD ASTRONÓMICA DE LONDRES



TOMO II

BIBLIOTECA PÚBLICA - LEÓN	
Estante
Tabla
N.º	11605

BARCELONA

MONTANER Y SIMÓN, EDITORES

CALLE DE ARAGÓN, NÚMS. 309 Y 311

1901

ASTRONOMIA

POPULAR

LABORATORIO GENERAL DE CIENCIAS

ES PROPIEDAD



LIBRO N.º

LABORATORIO

MONTAÑER Y SIMON EDITORES

CALLE DE ALBA 12, MADRID

LIBRO TERCERO

LOS COMETAS Y LAS ESTRELLAS FUGACES

LA LUZ ZODIACAL

INTRODUCCIÓN

Los movimientos celestes de que nos hemos ocupado en el tomo primero, se efectúan con la majestuosa uniformidad que ha impreso en el espíritu del hombre la idea de la inmutabilidad de los cielos; esta uniformidad desaparece de vez en cuando, pues en ocasiones se distingue en el firmamento un nuevo cuerpo que brilla durante varios días, apagándose en seguida, como una aparición sobrenatural, después de haber recorrido varias constelaciones.

Estos astros maravillosos son los *cometas*. Conocidos desde la antigüedad más remota, se han considerado durante muchos siglos, como precursores de todo género de desdichas para la especie humana, y aunque estas ideas supersticiosas ha tiempo que sólo encuentran acogida en las clases más ignorantes de la sociedad, es lo cierto que la naturaleza de estos extraños viajeros cósmicos permanece aún envuelta en cierto misterio.

Durante muchos años consideraron los astrónomos que los cometas eran meteoros transitorios cuya aparición, desaparición y movimientos no estaban sometidos á ley alguna; los pueblos de la antigüedad y de la Edad media veían en estos misteriosos cuerpos signos precursores de terribles calamidades y mensajes evidentes de la cólera divina; los sabios admitían que eran, en el cielo, monstruos análogos á los que poblaban la Tierra. El descubrimiento de la gravitación universal del inmortal Newton y los esfuerzos de los observadores y los geómetras permitieron al fin reconocer que sus movimientos se hallaban sometidos á las leyes generales que rigen el curso de todos los astros que componen la familia solar. Hoy día se calcula con toda exactitud la situación de estos cuerpos y se predicen las épocas de sus apariciones, y en todo caso, si no vuelven á columbrarse, se sabe á qué influjo se puede deber su desaparición. También se ha llegado á penetrar en los misterios de su organización, y algo se sabe acerca de su constitución física y química y de la naturaleza de su luz.

Hay cometas que, al modo de los demás astros que forman el cortejo solar, circulan como obedientes y sumisos esclavos en torno del astro central; otros

vienen de las inmensas profundidades de los espacios, brillan algún tiempo al acercarse á nosotros y vuelven á perderse en los abismos infinitos de los cielos. Por otra parte, la excentricidad y la inclinación de sus órbitas; su marcha, ya directa, ora retrógrada, y la rapidez de sus movimientos y apariciones, los diferencian profundamente de los planetas. Su estructura interna, su apariencia por lo común nebular y los cambios que se observan frecuente y rápidamente en su aspecto son caracteres que en gran manera los apartan de la forma globular permanente de todos los planetas.

De otro lado, presentan estos cuerpos maravillosos un grandísimo interés histórico, según podrá colegirse de los capítulos que vamos á dedicar á este asunto, calcados en su mayor parte en los trabajos del popular y erudito astrónomo francés Guillemin, pues su libro sobre los cometas, traducido á la mayor parte de los idiomas europeos, es el tratado más completo que existe sobre esta materia importantísima.

La astrología cometaria es, puede decirse, la introducción obligada de la parte puramente astronómica, sin la cual sería difícil comprender cómo hemos pasado de las más extravagantes preocupaciones á las serenas y tranquilizadoras concepciones de la ciencia contemporánea. Por ella, pues, vamos á empezar.

CAPITULO PRIMERO

ASTROLOGÍA COMETARIA

Ideas de los antiguos sobre los cometas. — Los cometas en la Edad media

Al considerar que apenas hace dos siglos las personas instruídas, y aun astrónomos eminentes, creían en el influjo de los cometas sobre los sucesos de la humanidad, ¿podremos extrañar que en los albores de la civilización aceptaran los hombres las ideas más absurdas acerca de la aparición de estos huéspedes singulares? Hoy día mismo, ¿no tiene la prensa periódica que apresurarse á desvanecer el terror que invade á muchas gentes cuando aparece en el cielo uno de esos siniestros mensajeros, precursores de pestes, hambres y guerras? ¿Y cuál es el origen de esta preocupación? El conocimiento imperfecto de los fenómenos de la naturaleza; las cosas que ocurren todos los días y que se reproducen con regularidad, ni llaman nuestra atención, ni despiertan nuestra curiosidad. El mariscador, por ejemplo, encuentra muy natural que el mar se retire dos veces al día para que él pueda dedicarse con provecho á su recolección, y no se ocupa de inquirir en virtud de qué poder maravilloso, de qué fuerza gigantesca, se transportan esos millones de toneladas líquidas con admirable constancia y regularidad.

Decía d'Alembert que no sin razón se admiran los filósofos al ver caer una piedra, y el pueblo ignorante, que se ríe de su admiración, participa de ella á poco que reflexione.

En efecto, hay que ser filósofo, ó como hoy decimos, hombre de ciencia, para llegar á buscar el porqué y el cómo de los hechos que presenciamos diariamente y cuya producción es frecuente y regular; los más admirables fenómenos pasan inadvertidos, porque la costumbre de presenciarlos embota la impresión que nos producen y nos deja sólo la indiferencia.

Este pensamiento lo expresa Séneca admirablemente al hablar de los cometas en el libro VII de las *Cuestiones Naturales*: «No hay mortal tan apático, tan obtuso, tan encorvado hacia la Tierra, que no se levante y no se dirija con todas las fuerzas de su pensamiento hacia las cosas divinas, sobre todo cuando algún fenómeno nuevo aparece en los cielos.

»Mientras que allá arriba todo sigue su curso diario, la misma costumbre del espectáculo vela su grandeza. Pues el hombre está hecho de esta suerte. Lo que ve todos los días, pasa indiferente, por admirable que sea; mientras que las cosas más insignificantes, cuando salen del orden habitual, lo cautivan y le interesan. El coro de las constelaciones bajo la inmensa bóveda que su belleza diversifica, no llama la atención de los pueblos; pero que ocurra algo extraordinario, y todos dirigirán su vista al cielo. El Sol no tiene espectadores más que cuando

se eclipsa; y sólo se observa la Luna cuando sufre una crisis semejante. Entonces las ciudades lanzan un grito de alarma, entonces cada uno tiembla por sí, poseído de un terror pánico.. De tal manera está en nuestra naturaleza admirar más bien lo nuevo que lo grande. Esto mismo ocurre con los cometas. Si aparece uno de estos globos inflamados de forma rara é insólita, todos quieren ver lo que es; y se olvida cuanto ha pasado y pasa, para ocuparse del recién venido; no se sabe si es preciso admirarse ó temblar, pues no faltan gentes que siembren el terror y que saquen de aquí graves pronósticos.»

Creemos que no es necesario esforzarnos mucho para demostrar que hoy ocurre algo parecido á lo que pasaba en los tiempos de Séneca. Indudablemente, las personas pensadoras, ante el espectáculo majestuoso del cielo, se sienten arrastradas hacia la admiración contemplativa; la marcha solemne de los cuerpos celestes, la bien ordenada armonía de los mundos, son para el filósofo el símbolo de las eternas leyes que rigen el universo. Pero el común de las gentes permanece impasible ante la Naturaleza inmóvil y sosegada. Una aparición insólita tiene el privilegio de sacudir en todos la indiferencia, despertando en unos la curiosidad, el temor en otros, y si el fenómeno presenta proporciones extraordinarias, la admiración de todos. Por otra parte, trátese de un cometa ó de otro meteoro notable, bólide, aurora boreal ó piedra caída del cielo, los sentimientos de temor que estos fenómenos inspiran son siempre iguales, y semejante la interpretación supersticiosa, según la magnitud, el brillo y la forma más ó menos rara y extraña de la aparición.

Es sabido por todos que latinos y griegos consideraban como presagios los hechos más comunes y familiares de la vida, un encuentro casual, el grito de los animales, el vuelo de las aves y otros muchos. Estos eran los medios que empleaban los dioses para ponerse en comunicación con los hombres, significándoles de esta suerte sus decretos, pensamientos y voluntades; y según la magnitud del presagio, así debía ser la importancia del acontecimiento; por manera que los cometas debían jugar un papel muy principal en estas manifestaciones de las voluntades superiores, siendo las más significativas y temibles. Como un cometa no era, por otra parte, un fenómeno puramente local, visible tan sólo por algunos individuos, sino que aparecía ante todos con el resplandor de un astro de dimensiones extraordinarias, variando de día en día de forma, posición y magnitud, tenía todos los caracteres de un presagio que interesaba al pueblo en masa; este agüero se dirigía á los que desempeñaban un puesto importante en la ciudad ó en la nación, como los príncipes y sus ministros y gobernadores. Participaba al propio tiempo de los astros, á los que á veces aventajaba por la intensidad de su luz, pero sin tener, no obstante, su curso regular y periódico, y de los meteoros terrestres por su aparición repentina y su desaparición á menudo instantánea y también por la rapidez de los cambios que experimentaba.

El cielo, con los millares de astros que contiene, Sol, Luna, estrellas y planetas, era para los antiguos la representación de lo inmutable y de lo incorruptible, y por este motivo servía de mansión á los seres inmortales, dioses y semidioses. El aire, por el contrario, la atmósfera, el espacio sublunar, que para los antiguos era una cosa misma, servía de morada á los objetos corruptibles y pasajeros, como los meteoros; y así como el rayo era el instrumento de las venganzas,

zas de Júpiter, los cometas eran los mensajeros del Destino, que venían á anunciar á los mortales, de parte de los dioses, los sucesos que habían irremediabilmente de ocurrir. En esta confusión de ciertos fenómenos celestes con los meteoros atmosféricos, reside la fuente ú origen de la mayor parte de las dificultades que han tenido los astrónomos en la antigüedad, en la Edad media y hasta en los tiempos modernos, para explicar el curso, bien complicado por cierto, de los cometas. Hasta el siglo xvi veremos que hombres de grandísimo mérito rehusaban á los cometas la cualidad de astros, y persistían en el error por la idea preconcebida que indicamos y por las creencias supersticiosas que tan permanentes son en los pueblos en todos tiempos y edades, sin duda porque estas creencias tienen un mismo origen y fundamento: la idea de la intervención sobrenatural de los dioses en los asuntos de la humanidad.

Según opinión de Pingré y Lalande, el famoso cometa de 1680 había aparecido por primera vez á los ojos de los hombres el año mismo de la toma de Troya; en apoyo de su aserto citan estos sabios unos pasajes de la *Iliada* y de la *Eneida*; pero cálculos recientes efectuados por Encke demuestran que el período del cometa de 1680 es de 8.814 años, y no de 575 como creían los dos astrónomos citados.

He aquí el texto de Homero á que se refiere Lalande:

. Así decía
 Júpiter á Minerva, que impaciente
 el mandato esperaba, y al oírle
 bajó desde las cumbres del Olimpo
 en raudó vuelo. Cual luciente estrella
 que de Saturno el hijo poderoso
 un presagio fatal de lo futuro
 envía desde el cielo al navegante,
 ó al vasto campamento de las tropas,
 y que en muchas estrellas se divide;
 tal entonces bajó desde el Olimpo
 Minerva, y por los densos escuadrones
 rápida penetró. Todos al verla,
 Aquivos y Troyanos, en profunda
 admiración cayeron, y hubo alguno
 que de este modo al compañero dijo:
 «Ya no dudemos que la cruda guerra
 de nuevo y los combates sanguinosos
 empezarán; ó el soberano Jove,
 que la guerra y la paz á los mortales
 distribuye á su arbitrio, en duradera
 amistad unirá las dos naciones.»

A la verdad que se necesita algo más que buena voluntad para ver en estos admirables versos del inmortal autor de la *Iliada* una alusión á los cometas; la estrella en cuestión pudiera ser un bólido, cuya explosión hace muchas veces que salten en todas direcciones infinidad de chispas tan luminosas, que en algunas, aunque raras ocasiones, se ven en pleno día y á despecho de la brillante luz del Sol.

La cita de la *Eneida* á que se refiere Pingré es aún menos adecuada al caso; hela aquí:

«Apenas pronunció estas palabras el anciano, retumbó de repente á nuestra izquierda el estampido de un trueno, y recorrió el espacio deslizándose del cielo, en medio de las tinieblas, una luminosa estrella. Después de resbalar por cima de nuestro palacio, vímosla esconder sus fulgores en las selvas del monte Ida, señalándonos el camino que habíamos de seguir; brilló entonces detrás de ella un largo rastro de luz, y un fuerte olor de azufre se extendió por todos los sitios circunvecinos. Vencido mi padre por aquellas señales, se levanta, invoca á los dioses y adora la santa estrella. «Pronto, pronto, exclama; no haya detención; ya os sigo y voy adonde queráis llevarme. ¡Oh patrios dioses, conservad mi linaje, conservad á mi nieto!»

Por lo general, los antiguos autores confundían los meteoros con los cometas; y los bólidos y las auroras boreales, por ejemplo, eran para ellos una cosa misma y fenómenos de idéntica naturaleza; y desde el punto de vista de sus interpretaciones sobrenaturales, se concibe esto perfectamente, pues en nuestra época, el vulgo tampoco hace distinción entre unos y otros fenómenos, cuando ve en ellos los anuncios de próximas desgracias. Y para este caso mucha gente es vulgo; durante la aparición de la aurora boreal del 24 de noviembre de 1870, un gobernador de provincia de una nación civilizada consultó á su gobierno sobre la conducta que debía seguir en vista de este fenómeno para él desconocido; el gobierno le contestó que estas manifestaciones celestes indicaban el momento en que los gobernadores de las provincias debían presentar la renuncia de sus cargos.

Aristóteles habla de un meteoro que apareció trescientos setenta y un años antes de la era cristiana, descrito por Diodoro de Sicilia en los siguientes términos: «En el primer año de la centésima segunda olimpiada, siendo Alcístenes arconte de Atenas, varios prodigios anunciaron á los lacedemonios su cercana humillación; una ardiente antorcha de magnitud extraordinaria, á la cual se dió el nombre de viga inflamada, apareció durante varias noches.» Este cometa, del cual volveremos á ocuparnos más adelante, se dividió, según el testimonio de Eforo, en dos partes, y hacia la época de su aparición tuvieron lugar temblores de tierra que produjeron la inundación de las ciudades de Acaya, Hélice y Busa. Los cometas no eran, pues, para los antiguos, únicamente precursores de sucesos funestos, sino que también tenían la facultad de causarlos en seguida. Véase, si no, lo que dice Séneca: «Este cometa, observado con tanta ansiedad por todos los que tenían ojos en el mundo, á causa de la gran catástrofe que ocurrió desde su aparición, produjo las inundaciones de Hélice y de Busa.»

No anunciaban exclusivamente los cometas los sucesos funestos, las guerras y las hambres, y lo que para unos era presagio de desgracias, se convertía para otros en augurio feliz. Así, pues, según Diodoro de Sicilia y Plutarco, el año 344 antes de nuestra era fué para Timoleón de Corinto el anuncio del éxito dichoso que debía coronar su expedición contra Sicilia. «Los dioses, por un prodigio extraordinario, anunciaron su fortuna y su grandeza futura; una ardiente antorcha apareció en el cielo durante la noche entera, y guió la flota de Timoleón hasta su llegada á Sicilia.»

El nacimiento y la muerte de los príncipes, sobre todo de aquellos que la historia recuerda particularmente por el mucho mal que causaron, se señalaba por apariciones de prodigios que por lo general eran cometas. Por esta causa los de 134 ó 137 y de 118 se relacionan respectivamente con el nacimiento y la exaltación de Mitrídates; y el cometa del año 43 se refiere al alma de César, que fué transportada al cielo. A Demócrito se atribuye por alguno la opinión de que estas son, en efecto, las funciones que desempeñan estos astros; véase en este punto lo que refiere Bodin en su *Universæ naturæ theatrum*: «Reflexiono en el pensamiento de Demócrito, y me siento como él inclinado á creer que los cometas son las almas de las personas ilustres que después de haber permanecido en la Tierra una larga serie de siglos, próximas al fin á perecer, son arrebatadas como en triunfo, ó llamadas al cielo de las estrellas como astros resplandecientes. Y por esto el hambre, las epidemias y las guerras civiles siguen á la aparición de los cometas; las ciudades y los pueblos se encuentran entonces privados de estos jefes excelentes, que se consagraban á apaciguar los furores intestinos.»

En la *Historia natural* de Plinio se encuentran varios pasajes que demuestran la terrible significación que daban los antiguos á los cometas. «El cometa, dice, es ordinariamente un astro espantoso, y no anuncia sino gran efusión de sangre. Hemos visto un ejemplo de ello durante los disturbios civiles, bajo el consulado de Octavio.» En este pasaje se trata del cometa del año 86 antes de J. C.; esta otra cita se refiere al cometa del año 48 ó también á la aparición de algunos bóhdos notables ó auroras boreales. «Hemos visto en la guerra entre César y Pompeyo un ejemplo de los terribles efectos que lleva consigo la aparición de los cometas. A principios de esta guerra, se iluminaron las noches más oscuras, según Lucano, por astros desconocidos; el cielo apareció como de fuego, atravesado en todos sentidos por brillantes antorchas que venían de las profundidades del espacio; el cometa, este astro terrorífico, que derriba las potencias de la Tierra, enseñó su terrible cabellera.»

Virgilio, al final de la primera *Geórgica*, expresa en su armonioso lenguaje cuánto horror causaban á los espíritus supersticiosos y crédulos de la muchedumbre los prodigios que tan hábilmente sabían explotar los políticos y los escépticos. Acaba de hablar de los pronósticos que pueden obtenerse de los variados aspectos del Sol poniente, respecto del tiempo, y añade:

«¿Quién osará llamar falaz al Sol? También muchas veces nos declara que amenazan secretos tumultos, que se fraguan amaños y ocultas guerras. También se compadeció de Roma, muerto César, cuando veló su nítida cabeza con ferruginosa niebla, y el impío siglo temió una eterna noche. En aquel tiempo daban igualmente señales la tierra y las aguas del mar, y los infaustos perros y las aves importunas. ¡Cuántas veces vimos el Etna, rotos sus hornos, derramar sus hirvientes olas por los campos de los Cíclopes, vomitando globos de llamas y peñascos derretidos! La Germania oyó por todo el cielo estruendo de armas; retemblaron los Alpes con insólitos movimientos; también se oyó muchas veces una gran voz en medio de los callados bosques, y se vieron al anochecer pálidos fantasmas de maravilloso aspecto, y hablaron las bestias, ¡cosa horrible!, y se pararon las corrientes de los ríos, y se entreabrió la tierra, y lloró en los templos el marfil desolado, y sudaron los bronce. El Eridano, rey de los ríos, arrastran-

do las selvas en furioso remolino, se derramó por las vegas, llevándose los ganados con sus majadas. En aquel tiempo, las entrañas de las tristes víctimas sacrificadas no cesaron de presentar agüeros amenazadores, ni los pozos de manar sangre, ni las ciudades de resonar por la noche con grandes aullidos de lobos. Jamás cayeron de un cielo tan sereno tantos rayos, ni ardieron tantos horribles cometas.»

Todos estos prodigios, estas mezcolanzas de hechos naturales y verdaderos, y de hechos imaginarios engendrados por la credulidad popular, son para el poeta otros tantos testimonios de la cólera y de la venganza de los dioses; los signos precursores de nuevos desastres, el agüero de la batalla de los Filipos, en que van á chocar y á ensangrentarse las armas de los hermanos. La naturaleza se une á los hombres, y sus manifestaciones indican su furor; todo, por otra parte, contribuye á hacer más perceptible la intervención divina; terremotos, erupciones de volcanes y desbordamiento de ríos. Los cometas y los bólidos, por los que Virgilio termina su enumeración, aparecen también como signos supremos de esta amenazadora intervención.

*Non alias caelo ceciderunt plura sereno
Fulgura: nec divi toties arsere cometae.*

(Jamás cayeron de un cielo tan sereno tantos rayos
Ni ardieron tantos horribles cometas.)

Posteriormente no fueron tan sólo presagios los cometas, y en tiempo de la tiranía imperial llegaron á ser pretextos para establecer persecuciones. Oigamos á Tácito á propósito del cometa del año 64: «Al fin del año, tan sólo se ocupaban las gentes de prodigios precursores de próximas calamidades; rayos más frecuentes que en ninguna otra época; aparición de un cometa, especie de presagio que Nerón expió siempre con sangre ilustre.» Durante el reinado de este monstruo se presentaron, en efecto, varios cometas, y de uno de ellos tuvo Séneca la debilidad de decir que habiendo aparecido en tiempo de Nerón, quedaban por ello rehabilitados. No parece, sin embargo, y más adelante hallaremos las pruebas de nuestro aserto, que el autor de las *Cuestiones naturales* participa de las preocupaciones del vulgo sobre los cometas; no niega que causen desastres con sus apariciones, pero se inclina manifiestamente hacia una explicación física de estos fenómenos. A propósito del cometa del año 62 dice: «El cometa que ha aparecido bajo el consulado de Patérculo y Vopisco, ha tenido las consecuencias que Aristóteles y Teofrasto atribuyen á esta clase de astros. Por todas partes hubo tempestades violentas y seguidas; en la Acaya y en Macedonia sepultaron los temblores de tierra varias ciudades.»

Para terminar lo que tenemos que decir sobre las creencias supersticiosas de los antiguos acerca de los cometas, mencionaremos dos ó tres apariciones famosas, que bastarán para demostrar que, de los tiempos antiguos á la Edad media, las ideas erróneas de los paganos pasaron sin modificación sensible á los pueblos cristianos, durante la larga noche intelectual de esta parte de la historia.

En el año 69, según Josefo, anunciaron varios prodigios la ruina de Jerusa

lén; «entre otros presagios, un cometa de la clase llamada Xifias, porque su cola parecía representar la hoja de una espada, se vió encima de la ciudad por espacio de un año entero.» Cita Pingré, á propósito del cometa del año 79, este pasaje curioso de Dión Casio: «Varios prodigios precedieron á la muerte de Vespasiano; un cometa apareció durante largo tiempo; la tumba de Augusto se abrió espontáneamente. Como los médicos reprochaban á Vespasiano que, hallándose atacado de una enfermedad grave, continuaba en su mismo género de vida ocupándose de los negocios del Estado: «Es preciso, respondió, que un emperador muera en pie.» Viendo que algunos palaciegos hablaban en voz baja del cometa, les dijo: «Esta estrella cabelluda no se refiere á mí; amenaza más bien al rey de los partos, puesto que él es cabelludo, y yo soy calvo.» Sintiendo que se aproximaba su fin, dijo: «Creo que me hago dios.»

El cometa del año 336 anunció la muerte del emperador Constantino. En el año 400, las desgracias con que Gainas amenazaba á Constantinopla eran tan grandes, dicen los historiadores Sócrate y Sozomeno, que fueron anunciadas por el cometa más terrible de que hacen mención las historias; «brillaba encima de la ciudad, y desde lo más alto del cielo, casi tocaba en la tierra; tenía la forma de una espada.» El mismo cometa se consideró también como agüero de una peste que ocurrió en la misma época. Por último, las invasiones de los bárbaros, en una fecha en que el desorden moral y la anarquía de las ideas corrían parejas con la desorganización del imperio, no podía dejar de señalarse por algún prodigio; aves de mal agüero, truenos frecuentes y formidables, pedriscos y granizos colosales, incendios, y finalmente, la aparición de cometas, «este espectáculo que jamás presencia la Tierra impunemente.»

Entremos ahora en la Edad media, en cuya lúgubre época la creencia en lo sobrenatural y en la intervención de los dioses en los negocios humanos se fortifica y aumenta más todavía, auxiliada por la superstición y el fanatismo que embargaba los espíritus. Si se quisiera formar una historia completa de las supersticiones que durante la Edad media, y hasta en nuestros tiempos modernos, se han tenido sobre los cometas, sería necesario pasar revista á todas las apariciones mencionadas de estos astros; habría que agregar también todos los fenómenos accidentales, de que la credulidad general formaba otros tantos prodigios, auroras boreales, estrellas nuevas y efímeras, bólidos, etc.

Esta enumeración, aunque interesante desde el punto de vista de la ciencia, que halla en las sencillas crónicas de la época los únicos documentos algo exactos que necesita para su objeto, sería intolerable en cuanto al estudio de las aberraciones de la humanidad; es una constante y monótona repetición de las mismas creencias absurdas; los sabios y eruditos han llevado á cabo, en parte, esta ingrata tarea, si bien es verdad que en la época en que escribían sus voluminosas compilaciones, aún se creía en el influjo de los cometas, y ellos mismos participaban de las preocupaciones generales.

Nos limitaremos, pues, á señalar algunos rasgos característicos de esta tenaz superstición, con objeto de evidenciar el progreso y la revolución que se han operado en las ideas, bajo el influjo creciente de la ciencia, en particular de la física y la astronomía. Dondequiera que ha penetrado la luz de la ciencia, han desaparecido los fantasmas de lo sobrenatural; las más extraordinarias aparicio-

nes, hasta las que aún permanecen sin explicación, han dejado de ser prodigios, agüeros y manifestaciones de los dioses, y se consideran como fenómenos naturales, cuyas leyes trata de descubrir todo hombre de ciencia, sean las que quiera sus opiniones religiosas. Hoy día creen los astrónomos en el influjo posible de los cometas, pero buscan las causas del fenómeno en circunstancias naturales; se trata de efectos de atracción, es decir, del que pueden causar las masas, ó de efectos físicos producidos por el calor, la luz y la electricidad, ó por último, de acciones químicas.

Los pueblos antiguos, en particular los griegos, consideraban ciertos cometas como de feliz augurio; el espíritu triste y sombrío de la Edad media sólo acepta sus siempre imprevisas apariciones como anuncios de sucesos terribles; guerras, pestes, incendios, hambres y muertes de soberanos principalmente; el cometa de 451 ó 453 anunció la muerte de Atila, y el de 455 la del emperador Valentiniano; otros cometas aparecieron sucesivamente para anunciar el fallecimiento de Meroveo en 577, de Chilperico en 584, del emperador Mauricio en 602, de Mahoma en 632, de Luis el Benigno en 837, del emperador Luis II en 875. Era una idea tan extendida que las apariciones de los cometas estaban ligadas á la muerte de los personajes, que muchos cronistas creyeron en cometas imaginarios que nadie vió; á esta clase pertenecería, según Pingré, el de 814, que anunció la muerte de Carlomagno. En el año 1024 apareció un cometa, presagio de la muerte del rey de Polonia Boleslao I; un eclipse de sol y un cometa marcaron de consuno en 1033 la de Roberto de Francia; varios cometas aparecieron en 1058, año de la muerte de Casimiro, rey de Polonia; en 1060, en que murió el rey de Francia Enrique, y finalmente en 1181, 1198, 1223, 1250, 1254, 1264, 1337, 1402, 1476, 1505, 1516 y 1560. En estas diversas fechas murieron los soberanos siguientes: el papa Alejandro III; Ricardo Corazón de León; el rey Felipe Augusto; el emperador Federico, depuesto y excomulgado; el papa Inocencio IV; el papa Urbano IV; Juan Gáelas Visconti, duque de Milán; Carlos el Temerario; Felipe el Hermoso de España; Fernando el Católico, y Francisco II de Francia. Esta lista pudiera hacerse mucho más extensa.

Los cronistas que dan cuenta de estas coincidencias creen firmemente, sin género alguno de duda, en la certidumbre del agüero y en su significación, y con frecuencia se leen las narraciones más cándidas sobre las relaciones de estos correos de la muerte y el próximo fin de los soberanos; el lector podrá apreciar esta verdad en los pasajes siguientes; el primero es de una antigua crónica francesa. «A principios de julio, poco antes de su mediación, apareció en el cielo durante ocho días un signo de los llamados cometas, anunciando la conclusión del reino, pues Felipe el rey, que hacía largo tiempo estaba atacado de fiebre cuartana, alcanzó su último día el 14 de julio de 1223.»

Juan Gáelas Visconti estaba enfermo cuando apareció el cometa de 1402; desde que distinguió el astro fatal, desconfió de su vida, «pues, dice, nuestro padre en el lecho de muerte nos ha revelado que, según el testimonio de todos los astrólogos, en el tiempo de nuestra muerte debe presentarse una estrella como esa durante ocho días. Este príncipe no se equivocó, agrega el historiador; sorprendido por una enfermedad inopinada, murió á los pocos días.»

Otro cronista da á entender que el cometa no apareció sino cuando Juan

Gáleas estaba ya atacado de la enfermedad que lo condujo al sepulcro. Pero la fe del duque en el aviso celeste no fué por eso menos completa. «En este tiempo se vió un gran cometa y se advirtió de ello á Gáleas; ayudáronle sus amigos á levantarse de la cama, vió el cometa y exclamó: «Gracias doy á mi Dios porque ha querido que mi muerte se anunciara á los hombres por un signo celeste.» Empeorándose su enfermedad, murió poco después en Mariñán el 3 de septiembre.»

Al citar Pingré la primera de estas historias, da á entender que la enfermedad inopinada de Gáleas pudo muy bien ocasionarla el quimérico terror del príncipe, ó por lo menos hay motivo para suponer que se agravase por esta causa. Esta sencilla observación del canónigo de Santa Genoveva marca bien la diferencia de los tiempos; en efecto, hasta el siglo XVII dan cuenta los escritores de

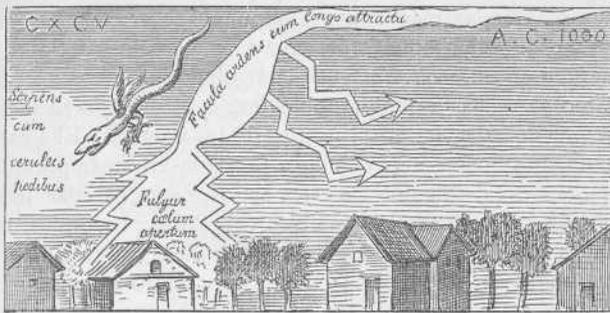


Fig. 1. — Los prodigios del año 1000. Facsímile de un dibujo del *Theatrum cometicum* de Lubienietzki

las coincidencias de los grandes sucesos con las apariciones de los cometas; no dudan de su íntima conexión y lo indican con el mayor candor, como un hecho de por sí evidente. Pingré, que escribió en el siglo XVIII, menos de un siglo después de los trabajos de Newton, busca las fechas capaces de permitirle el cálculo de las órbitas cometarias, y aun considera como una cosa conveniente las preocupaciones de los antiguos tiempos, pues á causa de su misma ignorancia han registrado los cronistas estas apariencias, que permiten á los sabios modernos tener algún conocimiento de estos fenómenos tan interesantes para la ciencia.

Existe cierta gradación, sin embargo, según los tiempos, en el terror supersticioso que engendraba la aparición de un cometa, terror que era asimismo proporcionado al brillo del astro, á la magnitud de la cola y á la forma más ó menos extraña de la cabellera y del apéndice luminoso. En el año 1000, en esta lúgubre época en que los pueblos aguardaban con tan terrible ansiedad el fin del mundo, los más sencillos fenómenos, sobre todo si eran imprevisos, tomaban las más formidables proporciones. Hubo temblores de tierra, y se vió un cometa por espacio de nueve días. «El cielo se entreabrió, una especie de antorcha ardiente cayó sobre la tierra, dejando tras sí un largo rastro luminoso semejante á un relámpago. Tal era su resplandor, que no sólo espantaba á los que estaban en los campos, sino también á los que se habían retirado á sus casas.

Al cerrarse lentamente esta abertura del cielo, se vió la figura de un dragón con pies azules, y cuya cabeza parecía crecer continuamente.» Aquí se trata, sin duda alguna, de la aparición de un bólido, ó quizá de una aurora boreal, y no del cometa que duró nueve días.

La fig. 1 que reproducimos de estos espantosos meteoros, sacada del *Theatrum cometicum* de Lubienietzki, es en extremo interesante y demuestra qué sencillas eran las gentes que de tal modo se aterraban; prueba también el poco caso que hay que hacer, científicamente hablando, de las descripciones de aquella época, escritas ó figuradas. Este dibujo es relativamente moderno, es decir, muy posterior á la fecha en que tuvieron lugar las apariciones que representa; pero la fig. 2 del cometa de 1528 está sacada de una obra de Ambrosio Pareo, contemporáneo de la aparición; las cabezas cortadas, las espadas, las armas que acompañan el dibujo de la estrella cabelluda, son simplemente la traducción de los objetos espantosos que las imaginaciones populares sobreexcitadas, creían ver en los cometas ó en los demás meteoros, como signos celestes. Sobre este punto emite Pouchet, en su obra *El Universo*, la siguiente justísima apreciación: «En Ambrosio Pareo se ve hasta qué punto los espíritus más graves de los últimos siglos se han dejado extraviar en el asunto de los cometas. El ilustre cirujano, que indudablemente no era supersticioso, presenta en su importante libro las figuras más fantásticas de algunos de estos astros. En su capítulo titulado *De los monstruos celestes*, habla Pareo de cometas cabelludos, barbudos, de forma de adarga, de lanza, de dragón, de batallas y de nubes. En particular describe y representa con todos sus detalles un cometa sangriento que apareció en 1528. Este cometa, dice, era tan horrible, tan espantable y engendraba tan gran terror al vulgo, que algunos murieron de miedo y otros cayeron enfermos. Parecía ser de largo excesivo y era de color de sangre; en su extremo se veía la figura de un brazo encorvado con una gran espada en la mano, como si hubiese querido herir. En la punta había tres estrellas y á ambos lados de los rayos del cometa se veían infinidad de hachas, cuchillos, espadas teñidas de sangre, entre las cuales había gran número de caras humanas con las barbas y los cabellos erizados.»

Veamos ahora en qué términos describe el historiador Nicetas el meteoro ó cometa del año 1182: «Después que fueron arrojados los latinos de Constantinopla, se vió un pronóstico de los crímenes y furores á que debía entregarse Andrónico. Apareció un cometa en el cielo, semejante á una serpiente tortuosa que se alargaba y se replegaba sobre sí misma, y de vez en cuando, con gran temor de los espectadores, abría una boca deforme; hubiérase dicho que, ávida de sangre humana, estaba próxima á satisfacer su apetito.»

«Comiers, dice Pingré, hace aparecer en el mes de octubre de 1508 un horrible cometa muy rojo, representando cabezas humanas, miembros cortados, máquinas de guerra y en medio una espada.» Poco más ó menos esta descripción es igual á la de Pareo, y en la figura citada se ven asimismo todos estos terribles objetos. Cuando estudiemos los cometas periódicos veremos que uno de los más famosos que registra la historia es el que lleva hoy día el nombre de Halley, por el astrónomo que calculó y predijo sus apariciones sucesivas; este cometa ha aparecido veinticuatro veces en el cielo desde el año 12 de la era cristiana, fecha de la primera aparición, según indican los anales ó la tradición.

Babinet refiere varios episodios curiosos entre las relaciones cometarias y los acontecimientos ocurridos en la superficie del globo. «Mahomet II, á la cabeza de sus valientes tropas sitiaba á Belgrado defendido por Huniades, llamado el exterminador de los turcos. Presentóse el cometa de Halley y ambos ejércitos se sobrecogieron con igual terror. El papa Calixto III, que participaba del páni-

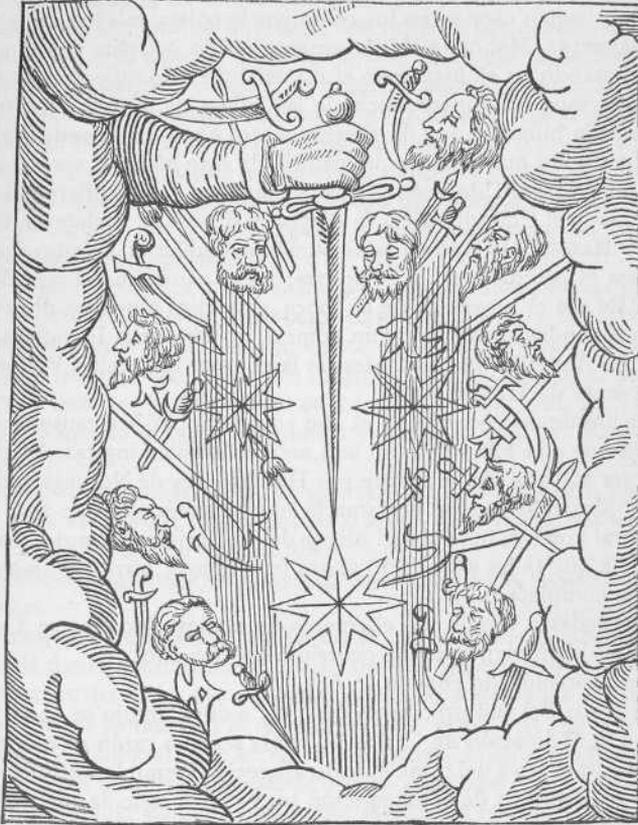


Fig. 2. — Cometa de 1528

Facsimile de un dibujo de los *Monstruos celestes*, de Ambrosio Pareo

co general, dispuso que se celebraran rogativas públicas y lanzó un tímido anatema sobre el cometa y sobre los enemigos de la cristiandad (1). Fundó la ple-

(1) El malgrado P. Secchi, en una Memoria presentada á la Academia Tiberina el 15 de febrero de 1875, dice á este propósito: «Los cometas están destinados á atormentar el cerebro de los astrónomos y especialmente de los aficionados, haciéndoles desbarbar de vez en cuando; como Guillemín, por ejemplo (no fué Guillemín, sino Babinet), que nos pinta al papa Calixto anatematizando el cometa con el aspersorio, mientras que el buen papa jamás pensó en perseguirlo. El erudito escritor llama supersticiones á los temores de nuestros buenos abuelos sobre los cometas, y luego, en más de veinte páginas, describe los desastres que estos cuerpos podrían causarnos, entre los que menciona el peligro de ser lapidados ó envenenados.»

garia llamada *Angelus del mediodía*, cuyo uso se ha perpetuado en todas las iglesias católicas. Los hermanos mínimos llevan 40.000 defensores á Belgrado, asediado por el conquistador de Constantinopla y destructor del imperio de Oriente; por último, se libra la batalla, que dura dos días seguidos, en los cuales perecen más de 40.000 combatientes; los hermanos mínimos, sin armas, con el crucifijo en la mano, en las primeras filas, invocaban el exorcismo del papa contra el cometa y hacían caer sobre los enemigos la cólera celeste, de la que nadie dudaba. Finalmente, Mahomet II, gravemente herido, se retira con inmensas pérdidas, abandonando en su fuga todo el material de sitio, mientras que el vencedor, Huniades, muere á consecuencia de las fatigas de un combate, ó más bien de una carnicería humana, que duró veinticuatro horas consecutivas.»

Pero rebuscando más atrás en la historia de este cometa, veremos que apareció en el mes de abril de 1066. «Los normandos con Guillermo á su frente, llamado después el Conquistador, se disponen á invadir Inglaterra, cuyo trono ha usurpado Haroldo, faltando á la fe jurada á Guillermo. Nadie duda que el cometa no sea el precursor de la conquista; nuevo astro, nuevo rey. *Nova stella, novus rex*. Este era el proverbio de la época, y muchos cronistas dicen unánimemente: los normandos, guiados por un cometa, invadieron la Inglaterra; de modo que uno de los destellos más brillantes de la corona de la reina Victoria está tomado del cometa de Halley.

La aparición de este cometa en el año 1066 ocasionó las censuras del monje Malmesbury, que cita Pingré, según una antigua crónica inglesa. Viendo que su patria iba á ser atacada, de una parte por Haroldo, rey de Noruega, y de otra por Guillermo, y juzgando que se derramaría mucha sangre, «Hete ahí, pues, dijo apostrofando al cometa, hete ahí, el origen de las lágrimas de tantas madres. Mucho tiempo ha que te he visto, pero ahora te veo más terrible; amenazas á mi patria de una completa ruina.»

Más atrás todavía vemos que el cometa de Halley vino en 837 á anunciar la muerte de Luis el Benigno, la que ocurrió á los tres años.

También apareció este cometa en 684.

Nada diremos del famoso cometa de 1556, á cuyo influjo se ha atribuído por largo tiempo la abdicación de Carlos V, por la sencilla razón de que el gran emperador había bajado ya del trono cuando apareció el temible astro. Más adelante hablaremos del anuncio de su reaparición para 1848 á 1860, la cual no se verificó.

En nuestra España no andaba mucho más adelantado el saber de los cometas; véase la opinión que emite el cosmógrafo Bartolomé Valentín de la Hera y de la Varra en su *Repertorio del mundo particular de las Esferas del Cielo y orbes elementales*, compuesto en 1584:

«*Cometas y sus significaciones*. De todas las formas de estrellas corruptibles cuales son las que caen y saltan, las más conformes á las primeras señales de que suele ser mensajero el cielo son los Chasmas, ó cuando pareciese romperse el cielo, y los incendios, cuales fueron el del año de 1580, sábado á 10 de septiembre, y el del año de 1582, martes á 6 de marzo, á las 7 de la noche. Entrambos fueron mensajeros de dos cometas, que se vieron poco después, el uno al principio de octubre de 1580, que duró más de dos meses, y el otro año de 1582, á 10 y 11 de mayo, que duró poco más de quince días.

»Señales muy amenazadas, y temidas por los antiguos, han sido siempre los cometas, y según consta de las fieles relaciones de sus historias, confirmadas con infalibles y grandes sucesos, de vientos, de esterilidad, guerra, pestilencia, muertes de príncipes y mudanzas de reinos.

»Tres diferencias dellos contó el filósofo, y éstas bastan, sin ser de consideración que algo importe, las nueve que contó Plinio y contaron los árabes. La Comata, Barbata, Caudata, la que tiene los rayos como cabellera, y la que los tiene como barba, y la que los tiene como cola. Y en efecto, la cometa es toda una en substancia, barbada ó con cola, según la materia fuere más ó menos.

»Considérase principalmente el lugar adó aparece, si es al levante, mediodía ó puesta del Sol. La forma y la grandeza, si está alta ó no tan alta, el movimiento que hace, y el signo adó aparece, y el signo del planeta con quien se juntare ó á quien llegare con su cola, y el tiempo que dura su aparición. El ángulo siguiente á su lugar; y las fijas ó imágenes á quien toca, y que en la hora de su primera aparición son angulares.

»El de levante presto hace sus efectos, y en gente moza, en las plantas y sus frutos. El de mediodía tarda más; pero comienza luego, y hace sus mayores efectos antes de cumplir ocho meses, en los hombres de juventud y en animales y edificios. El de poniente hácelos luego; pero más conocidos, desde ocho á doce meses, contados desde cuando se comenzó á ver, y en los hombres de treinta y cinco arriba, y en las simientes y tiempos, con dar ruin razón para sembrarlas.

»La forma, si es de espada, es de guerra, y de cualquier otra forma que representare cosa semejante, lanza, bocina ó arco. A la Iris la hacían los dioses mensajera de la guerra y de la discordia.

»La grandeza, cuanto mayor, mayores serán los efectos, y cuanto menos cuerpo, más flacos.

»La altura, porque unos se ponen en el cielo, como el del año 1572 que apareció en la figura septentrional de Casiopea, á quien todos colocaron entre las otras estrellas del cielo, por no poder salvar su matemática sin ponerla allá. (El ignorante autor se refiere á la estrella efímera observada por Tycho-Brahe.) De otra cuenta Albumasar, que se vió sobre Venus. É Hiparco decía que solía dar el cielo nuevas estrellas. Las que ocuparen este lugar tienen las significaciones mayores, sin poder en particular haber sabido los hombres cuáles sean.

»Otras hay que se ponen en el éter ó en lo encumbrado del fuego; y estas son las que trasladan las monarquías, cuales han sido muchas de las referidas en las historias.

»Otras hay que son de la tercera región del aire, y éstas tocan á todos, á reyes, príncipes, pueblos, animales y plantas.

»El movimiento, si es de levante en poniente, que es retrógrado, significa pérdida de los naturales del reino; y el de poniente en levante, de los que vinieren á conquistarle. El que está quedo significa daño interior del pueblo á fin que haya dañador de fuera.

»El signo adó aparecen (según lo que significare, conforme á las significaciones referidas de los signos) causará particular daño en esta especie ó en aquella: en signo humano, á los hombres; en Tauro, al ganado mayor; y en Piscis,

á los pescados: y así de las otras significaciones. Y á los que en sus nacimientos le tuvieren por horóscopo; por lugar del Sol, ó de la Luna, y vinieren en provincia, ó ciudad sujeta á tal signo. El planeta á quien tocara es de consideración para conjeturar si dañará á las cosas saturninas, que será cuando tocara á Saturno, y á los joviales cuando á Júpiter; y así de los demás.

»De cuatro cometas que yo he visto, el primero año de 1572, aquella grande estrella que apareció en la imagen de la Casiopea, cuyas significaciones aun están por saber. El segundo año de 1577, sábado á 9 de noviembre, á la puesta del Sol, aunque luego causó sequedad, no surtieron sus efectos hasta agosto de 1578 con la muerte del rey D. Sebastián y muertes y cautiverios de tantos nobles portugueses en el reino de Marruecos. La forma fué de bocina, significó guerra. La grandeza fué notable, y así lo fueron los efectos. La altura, según su vista, en todas partes excedía á toda la región elemental, y así tocó á tantos reyes como después murieron.

»El movimiento fué de poniente en levante, y así padecieron los conquistadores. El signo fué en Sagitario, que señorea España; padecieron los españoles. Y juntóse con Saturno, significó sequedad del otoño é invierno siguientes, muertes y cautiverios, cuales fueron los muchos que se padecieron. Y porque su cola vino á parar en Acuario, adó el rey Sebastián tuvo al Sol, y al horóscopo del nacimiento, fué á quien principalmente hizo el daño en Mauritania ó Marruecos sujeto á Acuario, á los que iban de Portugal, sujeto á Capricornio. El ángulo siguiente fué el medio cielo, y por esto significó el daño en las cosas y en las edades, que significa aquella casa. La fija con quien primero encontró fué el Aguila volante, significadora de la ilustre caída del alto vuelo de los conquistadores.

»El cometa del año de 1580 á principios de octubre, habiendo aparecido en el mediodía, en el signo de acuario, pequeño y con cola muy corta. Por el mediodía; adó fué primeramente visto, hizo sus efectos en el otoño é invierno siguientes con muchas aguas, y ruinas de edificios que se padecieron; y con la muerte de la católica reina doña Ana, mujer del rey D. Felipe segundo, cuasi á los últimos de octubre, y última rota de los ejércitos de D. Antonio de Portugal, pretensor de aquel reino, la forma fué de muy saturnino, y de cola corta y pequeña, y así no fueron señalados ni maravillosos sus efectos. La altura fué mediana, y así tocó á reina y pretensor de reino. El movimiento fué retrógrado, y así los naturales fueron los perdidos, y los extranjeros castellanos los que ganaron; el signo fué Acuario, cuyos efectos tocaron á Portugal, con que á mal del grado de muchos, fué su legítimo y pacífico señor el rey D. Felipe, y á Sevilla con la pestilencia, que padeció desde enero del año siguiente. Tocóle á D. Antonio, porque en su nacimiento el Sol estuvo en Acuario, y así le desbarató la poca ó mucha posesión, que de aquel reino tenía ganada. Configuróse con Saturno, causó la prisión de algunas personas de aquel reino, la tristeza que concibieron y el daño de la pestilencia de Sevilla. La cola corta no alcanzó á más del principio de Piscis, adó corría entonces la profesión del año de la reina, que antes que se acabase, ya había fallecido, habiendo sido significada su muerte por el eclipse de la Luna, celebrado á último de enero, á las diez de la noche, en la última faz de Leo, cuyo horóscopo había sido. Duró dos meses, y

así aún duran los rastros de aquel daño, y de D. Antonio que aún vive. Acuario, signo de invierno, causó tantas aguas en él, con tanta ruina de edificios. El ángulo siguiente fué la primavera y dañó las mieses y frutas. El cometa de este año de 1582 fué visto viernes y sábado á 11 y 12 de mayo hacia el poniente del solsticio, y de un cuerpo pequeño en forma de guadaña y de palma, estaba no muy alto, movíase de poniente en levante, estuvo en Géminis, tocaba al fin de Cancro, duró poco tiempo. Siguiéronse luego grandes aguas en toda Castilla la Vieja, cuales nunca se padecieron. La Andalucía padeció la pestilencia casi por todo el estío. Vino D. Antonio de Portugal con armada de franceses é ingleses, á querer señorear las islas de los Azores; rompióselas con muerte de muchos caballeros franceses y de su capitán general, la armada de España siendo su capitán D. Alvaro Bazán, marqués de Santa Cruz; y esto á los últimos de julio. Rota la armada francesa, y degollados muchos caballeros de los que en ella venían, tuvo suerte D. Antonio por no hallarse en ella, y así escapó con algunos navíos con que había ido á reconocer una de las islas vecinas: guardado de este fracaso, por la merced que Dios le hizo, y por la gran fortaleza que tuvo en la constitución que tuvo á la hora de su nacimiento. Padeció el daño por andar la corriente de su año en Géminis, signo del cometa; padecióse las aguas y en ella fué rota, por haber caído la cola en Cancro frío y húmedo, signo de la triplicidad que corre, y haber parecido el cometa en cuadrado de Saturno. El movimiento de poniente en levante causó el daño que padecieron los que vinieron á buscar y á conquistar. El signo de Géminis por ser opuesto á España, y su contrario le significó venida de enemigos, y algunos de los daños, que ha padecido en la salud de hombres, por ser en signo humano. Y con las muchas aguas de la primavera; y esto por haber sido uno de los signos de ella, causó viruelas, y los daños de los niños, por ser signo de la primera edad, cual le padeció el príncipe D. Jaime ó D. Diego, hijos del rey D. Felipe, muriendo para vivir en el cielo, á los 21 de noviembre, y esto por haber tocado la cola del cometa, del horóscopo de su genitura, que fué la última faz de Cancro, y lugar adó también tuvo al Sol, Géminis por ser signo de la primavera, aunque estuvo en el Occidente, significó el daño que los niños han padecido, y el que se padeció antes que se cumpliesen los ocho meses, desde el día de su primera vista, que casi se cumplen con el fin de este año de 82, quedando aún cuatro meses de los doce, en los cuales se pueden temer los daños que restan. Pero Dios es sobre todo el concurso de las causas y libre albedrío del hombre y sobre sus muchos efectos. Dañó las frutas por ser de la primavera, y por ser el ángulo siguiente al medio cielo. En las cosas de su significación, si conforme á la doctrina y ejemplos referidos quisieras juzgar de los cometas, podrás siendo tan prudente conjetrador, y aplicador de las acciones y pasiones, y de las disposiciones de las materias, como lo deseaba Ptolomeo; y de esta suerte serás muy cierto en los pronósticos naturales de los cometas, cuyas significaciones no merecieren los hombres que se suspendan ó trasmuden en salud, paz y abundancia.»

Este era el estado de la ciencia de los cometas en España y en toda Europa, á fines del siglo XVI; no se adelantó mucho á principios del XVII, al menos en nuestra patria, á juzgar por un informe que remitió al duque de Medina Si-

donia el famoso médico y astrónomo gaditano D. Diego Arias, cuyo original se conserva en la Biblioteca Nacional, código C. C. 85.

Lleva por título *Breve tratado del cometa que apareció á 26 de octubre 1604, dirigido al Excmo. Sr. Duque de Medinasidonia, del Consejo de S. M., y Capitán General del mar Océano y costa de Andalucía, fecho por el Doctor Diego Arias, médico de Cádiz.*

Empieza el doctor por admitir «que las señales y prodigios celestes son muy ordinario embajadores y trompetas de la justicia de Dios, según manifiestamente se conoció por las señales y prodigios con que Dios avisó la miserable ciudad de Jerusalén, la cual antes que fuese destruída por Tito, hijo de Vespasiano emperador, entre otras señales que sobre aquella ciudad parecieron, dice Josefo en el libro VII de *Bello Judaico* y enseñó en su *Historia eclesiástica* fué un cometa, que un año entero estuvo arrojando sus rayos sobre aquella ciudad á la cual sucedió su destrucción....»

«.... Según nos lo cuentan las historias antiguas que el año de 603, cuando el reino de Francia estaba dividido entre muchos con título de reyes, y Godoberto movió guerra contra su tío Clotario, en el aire se vió cometa de color de sangre, duró un año que sucedió la rota, mortandad y vencimiento de su gente: el ardiente cometa que se vió en Viena de Austria el año de 1520, siendo emperador justísimo Carlos V, significó las guerras que tuvo el turco con la casa de Austria....»

»Paréceme que será muy llegado á razón, antes que diga las significaciones de esta cometa, saber qué quiere decir cometa; según la etimología del vocablo, quiere decir cometa, *cometens* que tiene coma, como larga cola, lo cual ni es planeta ni estrella fija; pues este cometa, como diremos, se engendró en una suprema región, dejando la opinión de los antiguos filósofos que refiere Aristóteles en el libro primero de la *Metheora*, cap. VII, por no ser prolijo; los cielos estrellas y planetas son causa eficiente del cometa; éstos con su calor y movimiento levantan y atraen á la materia y exhalaciones de que se hace el cometa, la cual es una exhalación caliente y seca mucha en cantidad, fácil de inflamar, así por él en los movimientos con que es atraída como por estar allí muy propinqua la región del fuego, y así cuando á la suprema región del aire son atraídas multitud general de exhalaciones, las cuales congregadas y unidas son fáciles de inflamarse, hace el cometa en varias formas; la razón por que dura es porque se inflama por otra parte, y no toda junta, al modo que se enciende una vela de cera por un cabo, que mientras dura la cera dura la lumbre, así es el cometa, que mientras suben exhalaciones dura aquella lumbre; faltando el continuo vapor que la sustenta, falta ella también. Es ni más ni menos el cometa como un candil de aceite que mientras tiene aceite que gastar arde, y faltando el aceite falta la llama.»

«La parte donde se engendra el cometa es la suprema región del aire por grande atracción de vapores ó exhalaciones por muchos planetas juntos que atraen así las tales exhalaciones, como lo declaré en lunario de este año con estas palabras. Luna nueva será jueves 23 de septiembre á mediodía, general novedad muestran los cielos, pues hallo nueve conjunciones en seis días seis planetas; resultaron de estas conjunciones lo que dicho tengo en el pronóstico de

este mismo año con estas palabras: de varias figuras, estrellas ó fuegos volantes y de las muchas exhalaciones según doctrina de Aristóteles de la *Metheora*; dice Alcaviero, árabe, que habrá espantosos truenos, rayos y relámpagos, veránse discos de fuego, en el aire se engendrará un cometa significador de varios sucesos; vea ver como antes que se viere está pronosticado este cometa que hoy vemos y resultó de las nueve conjunciones.....»

Por este extracto podrá juzgar el lector del estado de la ciencia en España á principios del siglo xvii; no era mucho más floreciente en el resto de Europa; pero no obstante, si bien se desconocía la causa y naturaleza de los cometas, no se tiraban estos absurdos y bochornosos pronósticos, ni se fiaban de astrólogos y charlatanes más que las personas ignorantes y pusilánimes.

Acabamos de ver que las ideas supersticiosas de la Edad media dominaban aún en pleno Renacimiento, puesto que un sabio como Ambrosio Pareo, siquiera no fuese astrónomo, atribuía á los cometas los mismos influjos siniestros que el vulgo del año 1000, cuando aguardaba, presa de las mayores angustias, el fin del mundo. Poco á poco, sin embargo, se adquirieron ideas más sanas, y al influjo sobrenatural de los cometas sucedió, en el espíritu de los hombres de ciencia y de las personas ilustradas, el influjo puramente físico, primero bajo la forma de sencillas hipótesis, luego como probabilidades deducidas de las observaciones y de los hechos. Este progreso se realizó con lentitud y de igual modo que el de la astronomía cometaria; pero debemos decir que tuvo por auxiliares hombres pensadores, que, sin ser astrónomos, se hallaban al corriente de los conocimientos científicos de su época, é invocando el buen sentido, contribuyeron á desterrar varias preocupaciones ridículas.

CAPITULO II

ASTRONOMÍA COMETARIA

Progresos de la astronomía cometaria. - Descubrimientos de Newton. - Movimientos y órbitas de los cometas. - Cometas periódicos. - Cometas interiores ó de corto período. - Cometas de período medio. - Cometas de período largo.

Acabamos de relatar á grandes rasgos la historia de las aberraciones del espíritu humano á propósito de los cometas. Ahora vamos á indicar cómo, poco á poco, bien lentamente por cierto, se ha separado la verdad del error, y á la historia de las preocupaciones opondremos la de la ciencia. Ambas son instructivas y mutuamente se esclarecen en todos los períodos de su desarrollo; así, por ejemplo, se concibe que la irregularidad del movimiento de los cometas, su aparición súbita é imprevista, lo insólito de su forma, hayan alejado durante largo tiempo de los hombres que estudiaban la naturaleza, la idea de que tenían ante sus ojos astros reales y verdaderos, sometidos, como los planetas, á leyes regulares. Si fueron necesarios siglos de trabajos, de observaciones y de investigaciones de todo género para llegar á descubrir el verdadero sistema del mundo en cuanto concierne al Sol, á los planetas y á la Tierra, no hay que extrañar las dificultades con que se tropezaba al estudiar el movimiento de los cometas, toda vez que de estos astros nadie se tomaba el trabajo de hacer observaciones exactas y continuas. Y estas mismas dificultades, estos escollos en que tropezaba la ciencia, favorecían muchísimo, por el contrario, las preocupaciones é hipótesis que tan absurdas nos parecen hoy día. Por otra parte, el predominio de las ideas místicas apartaba á los astrónomos de un estudio que más parecía pertenecer á las letras divinas que á las humanas.

No hay nada más interesante, que observar cómo en el seno de estas tinieblas é ignorancia se formaron algunas ideas y concepciones exactas acerca de estos fenómenos; verdad es que esto tuvo lugar en pueblos y tiempos en que la filosofía, no oscurecida aún por las sutilezas escolásticas, se ejercitaba libremente explicando los hechos por hipótesis naturales, y cuando, por una intuición atrevida y dichosa, adivinó la escuela pitagórica, sin demostrarlo, el verdadero sistema del mundo. Es difícil decir si la primera idea exacta sobre la naturaleza de los cometas se debe á los caldeos ó á los antiguos egipcios; podemos creer que consideraban los cometas como astros sujetos á movimientos regulares, y no como sencillos meteoros, si es cierto que sabían predecir sus reapariciones; y en Diodoro de Sicilia se encuentran varios pasajes que atestiguan que los caldeos y los egipcios eran capaces de hacer estas predicciones; pero es probable asimismo que se fundasen para ello en ciertas creencias más bien astrológicas que astronómicas, como demuestra el trozo siguiente del citado autor, relativo á los caldeos:

«Los caldeos, dice, por una larga serie de observaciones han adquirido un conocimiento superior de los movimientos de los cuerpos celestes, saber que les permite anunciar los sucesos futuros de la vida de los hombres; pero, según ellos, cinco estrellas que llaman intérpretes y que los demás llaman planetas, merecen una consideración particular; su movimiento es de una eficacia bien extraña.... Anuncian también la aparición de los cometas, los eclipses del Sol y de la Luna, los temblores de tierra; todos los cambios que sobrevienen en el aire, sean estos saludables ó perniciosos, tanto á las naciones enteras como á los reyes y á los simples particulares.»

Hablando el mismo Diodoro de las observaciones astronómicas de los egipcios y de su saber de los movimientos de los cuerpos celestes, asegura «que predicen á menudo á los hombres lo que debe ocurrirles en el curso de su vida; el efecto sigue á la predicción; no es raro, añade, oírles anunciar las enfermedades que deben herir á los hombres y á los animales. Finalmente, por observaciones acumuladas desde hace mucho tiempo, prevén los temblores de tierra, las inundaciones, el nacimiento de los cometas y en general todo lo que parece superior al alcance del espíritu humano.»

Claro está que en el pensamiento del historiador las predicciones relativas á los cometas que atribuye á egipcios y caldeos no tienen nada de astronómicas; los cometas se encuentran confundidos con los demás meteoros atmosféricos, cuya vuelta estaba relacionada, según algunos, con el curso de los astros por coincidencias raras y misteriosas, como, por ejemplo, las conjunciones y otros aspectos celestes, de los que se han ocupado los astrólogos más tiempo que los astrónomos. Sin embargo, hay que admitir que los caldeos llegaron á obtener algunas nociones bastante exactas sobre los cometas, y que de este pueblo y del egipcio adquirieron los griegos sus primeros conocimientos astronómicos. Véase lo que dice Séneca en sus *Cuestiones naturales*: «Eudoxio fué el primero que transportó de Egipto á Grecia el saber de los movimientos planetarios. Sin embargo, nada dice de los cometas; de donde resulta que los mismos egipcios, el pueblo más curioso de astronomía, había profundizado poco esta parte de la ciencia. Posteriormente Conón, observador también de los más exactos, construyó el catálogo de los eclipses de Sol que habían anotado los egipcios, pero no hizo mención de los cometas, los que no hubiera omitido, de haber encontrado en sus anales algunos hechos precisos sobre este punto.» Séneca también refiere que Apolonio de Myndas obtuvo de los caldeos sus ideas sobre los cometas. Según Apolonio, los caldeos equiparaban los cometas á las estrellas errantes (planetas) y conocían su curso. Expone Séneca en seguida, con todos sus detalles, la opinión de este antiguo astrónomo. «El cometa no es un conjunto de planetas, pero una multitud de cometas forman los planetas reales. No son absolutamente imágenes engañosas, fuegos que aumentan por la proximidad de dos astros; son astros particulares como el Sol ó la Luna: su forma no es precisamente redonda, sino puntiaguda, extendida hacia lo largo. De otro lado, su órbita no es visible; atraviesan las más elevadas regiones del cielo y no se perciben sino en la parte más baja de su curso. No creamos que el cometa que se vió en tiempo de Claudio sea el mismo que apareció bajo Augusto; ni que el que se ha mostrado bajo Nerón y ha rehabilitado los cometas se haya parecido al que

después del asesinato de Julio César, durante los juegos de Venus Genitrix, se elevó sobre el horizonte hacia la undécima hora del día. Los cometas son muy numerosos y de diversas clases; sus dimensiones son desiguales, su color distinto; unos son rojos sin resplandor; otros blancos y brillan con purísima luz; otros presentan una llama mezclada con elementos poco sutiles y se cargan, se envuelven en vapores fumosos. Algunos son rojos como sangre, presagio siniestro de la que pronto se derramará. Su luz aumenta y decrece como la de los demás astros que despiden mayor brillo, que parecen más grandes á medida que descienden y se aproximan á nosotros, y más pequeños y menos luminosos porque retrogradan y se alejan.»

Veremos de aquí á poco que Séneca adoptó este sistema, en el que, aparte de observaciones exactas y de conjeturas que se aproximan mucho á la verdad, se encuentran algunos errores y rastros de las supersticiones de la época. La asimilación de los cometas á los planetas, en lo que concierne á sus movimientos, es un punto de vista luminoso, tanto más exacto, cuanto que Apolonio señala al mismo tiempo una diferencia característica entre las dos clases de cuerpos celestes, á saber, que los cometas no son visibles sino en una pequeña porción de sus órbitas.

Entre los antiguos filósofos que creyeron que los cometas eran astros, estrellas errantes como los planetas, hay que citar á Diógenes, jefe que fué de la escuela jónica después de Anaxágoras, á Hipócrates de Chio y á varios pitagóricos. Un pasaje de Estobeo (siglo v) prueba del propio modo que el libro VII de las *Cuestiones naturales* de Séneca, que esta opinión de los antiguos sobre la verdadera naturaleza de los cometas ha permanecido encerrada sin utilidad en los libros que han atravesado toda la Edad media; los astrónomos no han sacado de estos datos partido alguno: tan profundamente arraigada se hallaba en los espíritus la superstición. Dice Estobeo: «Los caldeos creían que los cometas eran otros tantos planetas, estrellas que se ocultaban durante algún tiempo porque distan mucho de nosotros y que se aparecen cuando bajan hacia la Tierra, según las leyes que les están prescritas; que se les llama cometas por los que ignoran que son verdaderas estrellas que parecen aniquilarse, cuando vuelven á su propia región y se sepultan en el abismo profundo del éter, como los peces en el fondo del mar.»

¿Qué hubiera sido preciso para que estas ideas notables fecundasen? Aplicar á la observación de los cometas las reglas conocidas desde larga fecha y seguidas por todos los astrónomos, y anotar con precisión todas las circunstancias de los movimientos planetarios. ¿Y cuántas de estas observaciones que han llegado hasta nosotros no hubieran sido preciosísimas para el cálculo de las teorías cometarias? A la verdad, para sacar de ellas todo el partido posible hubiera sido menester, con igual esfuerzo, elevarse hasta la concepción del verdadero sistema del mundo, entrevisto por la escuela pitagórica y obscurecido hasta los tiempos de Copérnico y Galileo. ¿Qué obstáculos se han opuesto á un progreso tan natural en la ciencia? Ante todo, el más poderoso fué la tendencia de los espíritus hacia lo maravilloso y sobrenatural y los prejuicios sobre los cometas, que cada vez fueron agravándose, por decirlo así, desde los tiempos de la Grecia heroica y filosófica hasta la Edad media, en que la locura astrológica llegó á su más alto

grado para desdicha de la humanidad. Contribuyó también á ello, desgraciadamente, el influjo de un genio poderoso que abrazó, sin idea preconcebida, cierto es, el erróneo sistema de los cometas-meteoros. En aquellos siglos en que siempre se juraba *per verba magistri*, la palabra de Aristóteles bastaba para convencer, y las ideas de Apolonio y de Séneca debían parecer algo sospechosas y heréticas.

Pingré divide las opiniones de los antiguos sobre los cometas en tres sistemas principales; el que acabamos de referir, y que viene á ser como un esbozo del sistema verdadero; el de Panetius, que consideraba los cometas como desprovistos de toda realidad, esto es, simples efectos de óptica; y por último, el que consiste en suponer que los cometas son meteoros atmosféricos pasajeros y sublunares.

Entre los autores de estos sistemas, unos, como Heráclidas de Ponto y Jenófanes, consideraban que los cometas eran nubes muy altas iluminadas por la luz del Sol, de la Luna ó de las estrellas; Estrabón de Lampsaco, que veía en los cometas como luces sumergidas en el seno de nubes muy densas, comparándolos en cierto modo á gigantescas linternas; ¿no parece que el núcleo luminoso que el telescopio ha revelado á los astrónomos contemporáneos corresponde á la hipótesis del filósofo pitagórico?

Tenemos ahora que examinar las ideas del portentoso genio de la antigüedad, del filósofo estagirita, del gran Aristóteles, cuyas opiniones sobre los cometas, falsas en absoluto, aún hallaban acogida hace dos siglos, y en este concepto, como todas las hipótesis del ilustre filósofo, merecen ser conocidas por el considerable y pernicioso influjo que ejercieron en el espíritu de los astrónomos de la Edad media y del Renacimiento. Para el famoso estagirita son los cometas exhalaciones que se elevan de la Tierra, las que al llegar á las regiones superiores del aire próximas á la del fuego, se encuentran arrastradas por el movimiento del medio que las rodea, y concluyen por reunirse, condensarse é inflamarse, cuya inflamación dura tanto como las materias combustibles, y cuando este fuego deja de ser alimentado se apaga y desaparecen los cometas. Aristóteles dividía el aire en tres regiones: la primera, inmóvil como la Tierra en que se apoya, sirve para que respiren los animales y las plantas; la región media, extremadamente fría, participa de la inmovilidad de la primera; pero la región superior, inmediata á la zona del fuego ó al cielo mismo, se halla arrastrada por el movimiento diurno de este último. Allí suben las exhalaciones emanadas de la Tierra, y caldeadas por el medio ambiente y por el movimiento, engendran los meteoros ígneos á los cuales pertenecen los cometas.

Inútil parece refutar todas estas hipótesis sin fundamento, y aun dar cuenta de las objeciones que á ellas presentaron Séneca y otros escritores de aquel tiempo; pero conviene que nos detengamos un momento para examinar á la ligera el libro de las *Cuestiones Naturales*, en el cual se encierra cuanto en aquella época se sabía sobre los cometas, sus apariciones, movimientos é influjo; y aparte de su valor histórico, merecen un estudio detenido las opiniones personales del autor.

Desde el principio del libro se ve que Séneca aprecia toda la importancia del asunto y la relación que debe existir entre la naturaleza de los cometas y el sis-

tema del universo. Se pregunta á sí mismo si los cometas son de igual naturaleza que los cuerpos situados á mayor altura, puesto que presentan con éstos varios puntos semejantes, como las ascensiones y declinaciones, y también la forma externa, salvo la difusión y la prolongación luminosa; por lo demás, igual brillo é igual fuego. Vemos aquí los cometas asimilados á las estrellas errantes en cuanto á sus movimientos y con la sola distinción de sus colas y nebulosidades. Séneca comprende «cuán importante sería investigar si el mundo gira alrededor de la inmóvil Tierra, ó si el mundo está fijo, y es la Tierra la que se mueve y si no es el cielo el que sale y se pone, sino nuestro globo. Es preciso saber también, agrega finalmente, el cuadro de todos los cometas que aparecieron antes de nosotros, pues su escaso número impide hasta aquí comprender la ley de su movimiento, y asegurarse de que su marcha es periódica y si un orden constante los hace aparecer en el día señalado. Ahora bien, la observación de estos cuerpos celestes es de fecha reciente y hace muy poco que se ha introducido en la Grecia.»

Sin embargo, no parece que Séneca hizo nada por su parte para contribuir á la realización de una aspiración tan prudente y perspicaz. En su tiempo se presentaron varios cometas y apenas los menciona en su libro, sin referir tampoco ninguna circunstancia particular de sus apariciones capaz de permitir un conocimiento medianamente exacto de su marcha aparente.

De estas consideraciones preliminares que indican en el espíritu del filósofo cordobés un presentimiento tan exacto de la verdad, pasa á la exposición de los principales sistemas imaginados en su tiempo para explicar los cometas. Trata de refutar el sistema de Epigena, quien del mismo modo que Apolonio, había consultado á los astrónomos caldeos, pero emitiendo una opinión completamente contraria, es decir, una opinión muy parecida á la de Aristóteles, salvo algunas explicaciones de detalles, falsas también, por supuesto. Al combatir Séneca estas ideas, se eleva en ocasiones á puntos de vista muy acertados, como, verbigracia el de la regularidad relativa de los movimientos cometarios. «Nada hay confuso, dice, nada tumultuoso en su curso, nada que haga presagiar que obedecen á elementos perturbadores y á móviles inconstantes. Y además, aun cuando los torbellinos fuesen bastante fuertes para apoderarse de las emanaciones húmedas y terrestres y lanzarlas desde tan bajo á tales alturas, no las elevarían sobre la Luna, toda su acción se detiene en las nubes. Ahora bien, vemos que los cometas ruedan en lo más alto de los cielos al par de las estrellas.»

Anota Séneca cuidadosamente una de las diferencias características entre los planetas y los cometas. Recordemos que los cometas no se presentan en una sola región del cielo, ni exclusivamente en el círculo del zodíaco; aparecen en el Oriente lo mismo que en el Ocaso, pero con más frecuencia hacia el Norte...» «El cometa tiene su región propia, concluye su curso, no se apaga, se aleja del alcance de nuestros ojos. Si fuese un planeta, podría decirse que rodaría por el zodíaco. ¿Pero quién puede asignar á los astros un límite exclusivo, confinando y poniendo en estrechura estos seres divinos? Estos mismos planetas que á tu vista parecen ser los únicos que se mueven, ¿recorren órbitas distintas unas de otras?»

«¿Por qué no había de haber astros que siguiesen caminos particulares y muy

separados de los que frecuentan los planetas? ¿Por qué había de haber en el cielo alguna región inaccesible?»

Más adelante explica con bastante precisión la causa de las retrogradaciones que se observan en el movimiento de los astros y de los cometas, y también la de las estaciones: «¿Por qué, dice, parece que ciertos astros vuelven atrás en su camino? Se debe al encuentro con el Sol su aspecto de lentitud; se debe á la naturaleza de sus órbitas y de los círculos dispuestos de tal manera, que en ciertos momentos hay una ilusión de óptica. Así los bajeles, aun cuando lleven sus velas hinchadas por el viento, pueden parecer inmóviles.» En el fondo esta es la explicación verdadera, perfectamente aplicable á los movimientos cometarios.

Enumera y describe Séneca las variadas formas que presenta su aspecto, y luego afirma que todos los cometas tienen el mismo origen, opinión por todo extremo arbitraria, que aún no se halla resuelta en nuestros días. En muchos puntos ha discernido la verdad, dando á las veces razones en apoyo de su opinión, fundadas en su buen sentido y basándose otras en explicaciones candorosas, que hoy día nos causan risa, puesto que se fundan en nociones de meteorología, de astronomía y de física admitidas en aquella época, nociones sin valor alguno y que se deben considerar como los comienzos de una ciencia en su infancia.

Refiere el pasaje del historiador Eforo sobre el cometa del año 371, testimonio precioso de un fenómeno que hemos visto reproducirse en nuestros días, la división de un cometa en dos partes; pero el sabio romano da cuenta del hecho para calificar al narrador de crédulo y embustero; y si bien esto parece impropio de Séneca, hablando con verdad, hace treinta años que nuestros soberbios astrónomos pensaban del mismo modo que el filósofo de Nerón, y el mismo Pingré elogia su sagacidad en este punto. Ha sido menester que se desdoblase el cometa de Gambart, á nuestra vista, por decirlo así, para dar al testimonio de Eforo la autoridad que Séneca y otros muchos astrónomos le habían rehusado. El análisis que presenta nuestro filósofo de la opinión de Apolonio, le presta ocasión para pronunciar en favor de un sistema del que son amplio desarrollo las modernas teorías cometarias. No se contenta, sin embargo, con decir únicamente lo que le parece más probable, sino que profetiza con ardor en nombre de la ciencia de lo porvenir. Estos pasajes de las *Cuestiones naturales* honran muchísimo á su autor y merecen citarse como testimonios de su profunda inteligencia.

«¿Por qué hay que admirarse, dice, de que los cometas, que tan raras veces se presentan en el mundo, no se hallen para nosotros sujetos aún á leyes fijas y que no se sepa ni de dónde vienen, ni dónde se detienen estos cuerpos, cuyas reparaciones ó vueltas sólo se verifican con intervalos inmensos? Todavía no han transcurrido quince siglos desde que

«La Grecia ha contado el número de las estrellas»

(*Navita tum stellis numeros et nomina fecit*)

(Virg., *Georg.* I)

»Todavía hoy ¡cuántos pueblos hay que sólo conocen el cielo por su efecto y no saben por qué se eclipsa la Luna y se cubre de sombras! Nosotros mismos

hemos llegado en este punto, hace muy poco, á una certidumbre razonada. Vendrá un tiempo en que lo que para nosotros es misterio se hará claro y evidente por los estudios acumulados durante el largo transcurso de los siglos. Para estas grandes investigaciones no basta la vida de un hombre, siquiera la consagrarse toda ella á la inspección del cielo. ¿Qué sucederá cuando de tan corto número de años como vivimos, hacemos un uso tan desigual entre el estudio y los viles placeres? Poco á poco, pues, y de un modo sucesivo se descorrerá el velo que encubre tantos fenómenos. Tiempo vendrá en que nuestros descendientes se admirarán de que hayamos podido ignorar cosas tan sencillas...»

«...Algún día nacerá un hombre que demostrará en qué parte del cielo vagan los cometas; por qué marchan con tanta rapidez respecto de los demás planetas; cuál es su magnitud y su naturaleza. Contentémonos con lo que hasta aquí se ha hallado; que nuestros sobrinos tengan también su parte en las verdades que hay que descubrir...»

Mil y seiscientos años transcurrieron entre la predicción de Séneca y su completa realización, gracias á los trabajos acumulados de un gran número de astrónomos y á la aparición del libro de los *Principios*, en el que Newton demostró las leyes de los movimientos cometarios.

A mediados del siglo xvi, la evolución del Renacimiento, tan favorable á las letras y á las artes, dejó sentir también su benéfico influjo en las ciencias de observación. Ya á fines del siglo xv se ve á Regiomontano describiendo con esmero los movimientos de los cometas; Apiano se ocupa de la dirección de las colas, opuestas, por lo general, al punto en que el Sol se halla; Cardano hace notar que los cometas se encuentran mucho más allá de la Luna, fundando su opinión en la pequeñez ó ausencia completa de paralaje. Llegó, pues, el momento en que en vez de proceder por vía de hipótesis y conjeturas, se trató de multiplicar las observaciones dándoles el carácter de exactitud y precisión de que hasta entonces habían carecido. Veremos aún muchas opiniones erróneas, pero que se discuten, comparando con los hechos observados sus consecuencias geométricas y astronómicas. Astrónomos distinguidos como Tycho Brahe, Keplero, Galileo, Hevelio y Cassini se equivocaron sobre el verdadero carácter de las órbitas cometarias; filósofos eminentes, como Descartes, intentaron enlazarlos á sus atrevidas y falsas concepciones del sistema del mundo, pero el gran principio que permite reunir en majestuoso conjunto el edificio entero de los conocimientos astronómicos acumulados en la sucesión de los siglos, el principio de la gravitación universal, iba á permitir pronto á Newton extender sus admirables teorías á los cometas, sujetándolos á las mismas leyes que habían aprisionado á los planetas. Desde este momento empieza la verdadera astronomía cometaria, la ciencia de los cometas, que rápidamente se eleva á un grado de desarrollo comparable al de las demás ramas de la astronomía.

Describiremos con brevedad las principales fases de la historia hasta llegar á Newton, en cuyo punto procederemos al estudio directo de los cometas, de sus movimientos y de su constitución física y química, elementos todos que hallarán el lugar que les corresponde en la serie de párrafos consagrados á este asunto interesante.

La aparición del cometa de 1577 puede considerarse como el punto de par-

tida del nuevo período. Tycho Brahe, que acababa de seguir con tanta atención la estrella efímera que apareció repentinamente en la constelación de Casiopea en 1572, hizo numerosas y exactas observaciones del nuevo cometa; determinó su paralaje, poniendo de esta suerte fuera de duda que los cometas se mueven en una región más elevada que la Luna, como anteriormente había indicado Cardano. Trató Tycho de representar el movimiento del cometa haciéndole describir alrededor del Sol una órbita circular superior á la de Venus; en cuanto á la naturaleza física del astro, supone que sea la de un meteoro no atmosférico, puesto que acepta que ha sido engendrado en las profundidades del cielo. Era este un primer ataque á las ideas de Aristóteles, profesadas por otros astrónomos contemporáneos, como Moestlin y Rothmann.

Los cometas de 1607 y 1618 dieron motivo á Keplero para explicar las apariencias de sus movimientos, imaginando una hipótesis que, aunque falsa, no carecía de ingenio. Según el autor inmortal de las tres grandes leyes de los movimientos planetarios, atraviesan los cometas el sistema solar, siguiendo órbitas rectilíneas, y Pingré hace notar, con razón, que el movimiento aparente de los cometas de 1607 y 1618 se explica de un modo más natural en esta hipótesis que en la de Tycho, lo cual puede interpretarse diciendo que el camino seguido por estos astros en sus porciones visibles se aproxima más á una línea recta que á un círculo. En cuanto á la naturaleza física de los cometas, que Keplero cree tan numerosos en el cielo como los peces en el mar, veamos lo que se lee en el libro segundo de su obra sobre estos astros: «No son eternos, como creía Séneca; se encuentran formados de materia celeste, la cual no ofrece siempre el mismo estado de pureza, y á menudo se junta como una especie de grasa, que empaña el brillo del Sol y de las estrellas. Es necesario, pues, que el aire se purifique y se descargue de esta especie de excremento, lo cual se verifica por medio de una facultad animal ó vital, inherente á la substancia misma del éter. Esta substancia espesa se aglomera bajo una forma esférica, recibe y refleja la luz del Sol y se pone en movimiento como una estrella. El Sol la ilumina con rayos directos que penetran su substancia, arrastra consigo una parte de la materia, y salen para formar al lado opuesto ese rastro luminoso que llamamos la cola del cometa. Esta acción de los rayos solares atenúa las partículas que componen el cuerpo del cometa, las expulsa y las disipa; de esta suerte se consume el cometa al expirar su cola, por decirlo así.» Vemos, por lo tanto, que si en el pensamiento de Tycho y de Keplero se consideran los cometas en la categoría de cuerpos celestes, se trata siempre de astros efímeros de origen reciente y destinados á desaparecer.

Algunas de las ideas de Keplero se resienten de las concepciones místicas y particulares del grande astrónomo sobre los cuerpos celestes; sin embargo, las relativas á la formación de las colas, aunque modificadas, se aceptan por los astrónomos contemporáneos y forman el punto de partida de una de las teorías modernas más acreditadas sobre los fenómenos cometarios.

Galileo creyó asimismo que los cometas se movían en línea recta; pero no supo desprenderse de las opiniones vulgares, y participaba de la creencia común de que estos cuerpos eran meteoros pasajeros y exhalaciones de la Tierra.

Los cometas notables que aparecieron á mediados del siglo xvii, en particu-

lar en 1664 y 1665 y luego en 1680, llamaron la atención de todos los hombres de ciencia, adquiriendo cada vez mayor crédito la idea de que estos cuerpos eran astros verdaderos, y al cabo de quince siglos se volvía al sistema de Apolonio.

Cassini abordó el gran problema de determinar la geométrica de sus órbitas y las leyes de sus movimientos, pero sin conseguir su resolución, de lo cual no debemos maravillarnos si reflexionamos que este ilustre astrónomo no se atrevía aún á abjurar las creencias del sistema del mundo, tan victoriosamente combatidas por Copérnico y Galileo; y como consideraba que la Tierra era un observatorio desprovisto de movimiento, hubo de confundir los aparentes de los cometas con los reales. Supuso Cassini que estos astros eran tan antiguos como el mundo; pero les hizo describir órbitas circulares, muy excéntricas á la Tierra, con objeto de explicar la débil porción de la órbita visible durante la corta duración de sus apariciones.

Un observador laborioso, Hevelio, adoptó con ligeras modificaciones el sistema de Keplero, es decir, las órbitas rectilíneas ó sensiblemente rectilíneas. Los cometas son también, según este astrónomo, producto de las exhalaciones de la Tierra, de los demás planetas y del Sol. Arrastrados primero por un movimiento ascensional, combinado con el movimiento de rotación del planeta que les dió origen, consigue la masa alcanzar, después de haber descrito una línea espiral, los límites del torbellino de este planeta, y llegando á este punto, se mueve ó escapa según la tangente á la superficie límite. Pero la resistencia que le opone el éter modifica la forma de su órbita, que de rectilínea pasa á ser parabólica. En todo esto no hay más que un sistema puramente hipotético que sin duda habrá costado á su autor grandes esfuerzos de imaginación, pero que, sin embargo, no se apoya en ningún principio verdadero de mecánica astronómica; así que las ideas de Hevelio hallaron pocos partidarios entre los astrónomos, y la obra en que las ha expuesto, que contiene, por otra parte, preciosos datos históricos y de observación relativos á los cometas de 1652, 1664 y 1665, no es hoy día más que un objeto curioso de la historia de la ciencia.

Keplero descubrió en 1618 las tres leyes que han hecho su nombre inmortal é imperecedera su gloria; estas leyes rigen los movimientos de los cuerpos que, como los planetas y la Tierra, circulan alrededor del Sol en períodos regulares. Según la primera ley, la órbita descrita alrededor del Sol es una elipse, ocupando este lumínar uno de los focos; la segunda es relativa á la velocidad del planeta, la cual aumenta cuanto más cerca se encuentra el astro del foco, y es más débil cuanto mayor es la distancia; de modo que la velocidad máxima corresponde al perihelio, y al afelio la mínima. La tercera ley indica la relación constante que existe entre el período de cada revolución periódica y el diámetro mayor de la elipse.

¿Por qué no trató Keplero de aplicar á los movimientos de los cometas las leyes planetarias, dejando á Newton la gloria de una generalización que tan natural parece hoy día? Porque las porciones de las órbitas cometarias visibles desde la Tierra son, por lo común, fragmentos muy pequeños de la curva inmensa, excesivamente prolongada, que describe cada cometa en una revolución total; de otro lado, en tiempo de Keplero, no se tenía noticia de que en ningún

caso hubiera reaparecido un cometa, y por último, este gran genio se hallaba dominado por la idea peripatética de que los cometas eran meteoros pasajeros y efímeros.

Newton pudo elevarse á una concepción superior de los movimientos de los cuerpos celestes, gracias á los continuos progresos de las ciencias físicas y matemáticas; halló la razón de las leyes que el genio de Keplero había obtenido de las observaciones de Tycho Brahe y de las suyas propias; les dió la interpretación mecánica; en una palabra, obtuvo todas las particularidades de los movimientos celestes, como otras tantas consecuencias necesarias de un principio único, el de la gravitación recíproca de las masas de estos cuerpos y de la del globo solar.

Desde este momento dejaron los cometas de ser la desesperación de los astrónomos; sometidos á la gravitación, describen, lo mismo que los planetas, órbitas cuyo foco común es el Sol y que se diferencian, sin embargo, por dos caracteres principales. El primero es la inclinación de los planos de sus órbitas sobre el plano de la órbita terrestre, y en vez de estar comprendida en límites estrechos puede alcanzar esta inclinación todos los valores posibles. Desde la Tierra, pues, pueden verse, y en efecto se ven, los cometas en todas las regiones del cielo, al paso que el curso aparente de los planetas permanece siempre confinado en la estrecha zona llamada zodiaco. Además, consiste su segundo carácter especial en que la elipse descrita por un cometa es, por lo general, muy prolongada, y por esta causa precisamente, sólo vemos una porción muy restringida, pues más allá se encuentra el cometa sumergido en unas regiones celestes tan distantes de la Tierra, que es por completo invisible. Por otra parte, el período de una revolución es generalmente tan grande, que en tiempo de Newton no se habían podido computar dos vueltas sucesivas del mismo astro. Ahora bien, elipses tan prolongadas, cuando sólo se consideran los arcos descritos en la proximidad del perihelio, pueden sensiblemente confundirse con parábolas de igual foco y de igual vértice. Por esta causa, apoyándose Newton en la asimilación aproximada, obtuvo el medio de determinar, sirviéndose de un reducido número de observaciones, los elementos de una órbita cometaria, problema mucho más sencillo que el que tiene por objeto el conocimiento de la elipse completa.

Tenemos aún que admitir una diferencia entre los movimientos cometarios y los de los planetas; los de estos últimos son siempre directos, y todos se efectúan para un observador de pie, y colocado sobre la cara boreal del plano de la eclíptica, de derecha á izquierda, ó de Occidente á Oriente. Los movimientos de los cometas son, unos directos, y retrógrados otros. Esta consideración de gran peso hizo admitir las ideas de Newton en contra de los torbellinos de Descartes. Si el cielo planetario está lleno de torbellinos de materia que circula en el mismo sentido alrededor del Sol, y en torno de cada uno de los cuerpos del sistema, ¿cómo puede comprenderse, en efecto, que los cometas atravesasen este medio en un sentido opuesto al de su propio movimiento?

Todas estas ideas tan sencillas y al mismo tiempo tan grandiosas, en la unidad de su conjunto, no se admitieron, como es sabido, por los físicos y los astrónomos del siglo de Newton. ¿Por qué? Imbuídos todavía del espíritu de sistema,

de secta, se inclinaban los unos á las antiguas doctrinas de Aristóteles, y los otros hacia las atrevidas novedades del cartesianismo.

Pero no era posible dudar de que la verdad se abriera paso.

Halley, ilustre contemporáneo de Newton, contribuyó á su triunfo en lo respectivo á las teorías cometarias; emprendió el cálculo, laborioso en aquella época, de las órbitas de veinticuatro cometas, principalmente de aquellos cuyas observaciones eran bastante numerosas y exactas; las comparó, creyendo reconocer cierta identidad entre muchas de ellas. Un cometa observado hacía poco tiempo, el de 1682, le pareció semejante á los cometas de 1607 y de 1531; aseguróse de esta conformidad, y afirmó que era el mismo astro, observado en varias apariciones sucesivas, y predijo, por último, su reaparición. Ni Halley ni Newton pudieron presenciar el suceso, del cual referiremos la historia más adelante; pero el año 1759, en que tuvo lugar, en efecto, la vuelta del cometa de 1682, fué una fecha decisiva en la historia de la astronomía cometaria, y puede decirse que, á partir de esta época memorable, no hubo ya lugar para las hipótesis, á lo menos en lo relativo á los movimientos de los cometas.

Henos, pues, en disposición de entrar en la parte científica de nuestro asunto.

Los cometas participan del movimiento diurno. Durante el período de sus apariciones, salen y se ponen como el Sol, la Luna, las estrellas y los planetas, y desde este punto de vista no se diferencian, pues, de los demás astros.

Cuando aparece un cometa, nótese el lugar del cielo que ocupa en el momento en que se principia la observación, lo cual es fácil de ejecutar, comparándolo con dos estrellas, más ó menos cercanas al punto brillante de donde arranca la cola, esto es, el *núcleo*; luego que ha pasado algún tiempo, una hora, verbigracia, se notará que los tres puntos luminosos, á saber, el núcleo y las dos estrellas, han cambiado de lugar respecto del horizonte, describiendo cada uno de ellos una parte de arco de círculo. El centro común de estos arcos es el polo celeste, que para este caso puede considerarse que es la estrella polar, y su magnitud depende del período de la observación, y también de la distancia angular de cada objeto al polo, ó sea de sus respectivas distancias polares. Su dirección es la del movimiento general del cielo y de las estrellas, es decir, de Oriente á Occidente.

Este primer examen nos indica exactamente la posición del cometa fuera de la atmósfera de la Tierra; el movimiento diurno es, en efecto, un movimiento aparente, extraño á los astros y propio é inherente, en realidad, al observador, ó si se prefiere al observatorio, puesto que depende de la rotación del globo terrestre sobre su eje. La totalidad de la atmósfera participa de este movimiento, y un cuerpo que estuviese en ella sumergido podría, sin duda alguna, tener un movimiento peculiar, sin participar por esto del movimiento diurno.

Los antiguos, que consideraban los cometas como meteoros de origen atmosférico, se veían obligados, ó bien á admitir la inmovilidad de la Tierra, ó bien á aceptar que los cometas, después de haberse formado en la atmósfera, se alejaban de nuestro globo; y una vez independientes, se movían en el mismo cielo. Este era, por ejemplo, el sistema de Hevelio que antes examinamos.

Esta primera observación no nos permite distinguir los cometas de la multitud de puntos brillantes que tachonan el azulado firmamento, de las estrellas fijas

verbigracia. Es verdad que los cometas aparecen en regiones en que antes eran invisibles, y que luego, al cabo de cierto tiempo, desaparecen; pero por esta sola causa pudieran ser confundidos con esas estrellas particulares, que se ven brillar repentinamente en una constelación, aumentar de brillo y luego debilitarse y desaparecer. A este tipo pertenecen las famosas estrellas efímeras de 1572 (la Peregrina), de 1604, de 1670, de 1868, y otras, que aparecieron y se extinguieron en las constelaciones de Casiopea, el Serpentario, la Zorra, la Corona boreal, etc. Ahora bien, todas estas estrellas presentaron la particularidad de que en los puntos exactos en que se mostraron el primer día, permanecieron inmóviles hasta su desaparición, ó al menos sólo se vieron arrastradas por el movimiento diurno. Como las estrellas situadas á inmensas distancias de nuestro mundo solar, no han tenido movimiento propio, por lo menos movimiento propio sensible, durante todo su período de aparición, que á veces ha sido bastante largo. Lo mismo ocurre con las nebulosas, y lo que las distingue de los cometas es su inmovilidad aparente, en el seno de las constelaciones. Como vemos, para buscar un cometa hay que valerse de los mismos medios visuales y fotográficos que se emplean para descubrir los pequeños planetas (figura 3).

Los cometas, por el contrario, tienen un movimiento propio muy rápido á las veces; se les ve que cambian de lugar sensiblemente de día en día y aun de hora en hora, en el seno de las constelaciones, presentando este carácter común con los planetas, y ahora sabremos que este movimiento propio se debe á las mismas causas.

Primeramente, al movimiento real del astro, ó sea á su dislocación progresiva en el espacio celeste; supongamos por un instante que la Tierra está inmóvil; un observador colocado en su superficie, verá que el astro en movimiento corresponde poco á poco con estrellas distintas, y que describe sobre el fondo del cielo una línea cuyas forma, dirección y dimensiones aparentes dependerán del verdadero camino seguido por el astro, de su forma real, de su dirección y de su velocidad. Por ejemplo, la Luna, que describe una curva ovalada ó elipse en torno de la Tierra en un mes próximamente, parecerá que en este tiempo recorre de Occidente á Oriente un círculo máximo de la esfera. Los planetas Mercurio y Venus, que giran alrededor del Sol describiendo órbitas cerradas más ó menos distintas de un círculo, pero encerradas por la órbita terrestre, parecerá que se mueven á uno y otro lado del astro, oscilando periódicamente ya al Oriente, ora al Occidente del Sol. Los demás planetas, como Marte, Júpiter y Saturno, vistos desde la Tierra, dan una vuelta entera al cielo en tiempos desiguales, describen alrededor del Sol órbitas externas á la de la Tierra y los

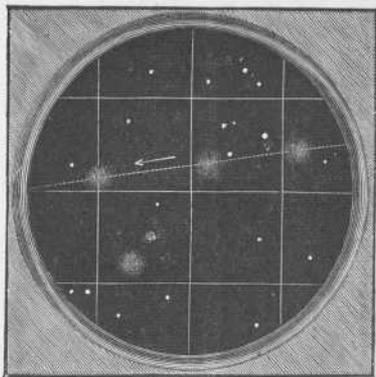


Fig. 3. — Diferencia entre el movimiento propio de un cometa y el aparente de una nebulosa.

tiempos reales de sus revoluciones varían con las dimensiones de estas órbitas.

Sin embargo, no se verifican estos fenómenos de un modo tan sencillo, y vamos á ver por qué.

En primer lugar, porque al movimiento real y regular de los planetas viene á agregarse el movimiento propio de la Tierra; además, porque en el intervalo de un año se mueve nuestro globo también alrededor del Sol, en una curva ó órbita cerrada poco distinta de un círculo, en una palabra, en una elipse de la que ocupa el Sol uno de los focos. Esta dislocación de la Tierra, como se puede suponer, debe complicar el movimiento aparente de los planetas y sus cambios de posición en la bóveda estrellada. Unas veces parece que se acelera este movimiento propio, lo que ocurre, naturalmente, cuando el planeta y la Tierra se mueven describiendo arcos en opuestos sentidos, puesto que se suman sus velocidades. Del propio modo un viajero arrastrado en un sentido por el tren, ve pasar otro tren al lado del suyo, con una velocidad igual á la suma de sus velocidades respectivas, si ambos trenes van en sentido contrario; si caminan paralelamente en la misma dirección, no se alejan sino con una rapidez igual á la diferencia de su marcha, y aun pudieran parecer inmóviles, caso de ser iguales sus velocidades. Esto es lo que ocurre con los planetas vistos desde la Tierra. Su movimiento propio se detiene algunas veces hasta que llega á ser nulo, y entonces el astro permanece estacionario; otras veces parece retrogradar.

Aunque ya en las páginas anteriores explicamos estos efectos, conviene que insistamos sobre ellos antes de pasar á lo que tenemos que decir sobre los movimientos cometarios.

Es evidente que resultan de la combinación del movimiento propio de un planeta en su órbita y del movimiento de la Tierra en la suya. Ahora bien, sea el que quiera el curso seguido en realidad por un cometa en el cielo, su trayectoria aparente se encontrará modificada por la dislocación propia del observador, es decir, de la Tierra.

Así, pues, segundo punto: para conocer la órbita verdadera de un cometa, será menester llevar en cuenta el efecto óptico resultante del camino que haya seguido nuestro planeta, y la porción de su órbita recorrida durante la aparición del astro viajero.

Las estaciones y retrogradaciones planetarias, aunque bastante sencillas, relativamente, han sido por largo tiempo una de las graves dificultades con que tropezaron los astrónomos; pero cuando se descubrió el verdadero sistema del mundo en toda su sencillez por el inmortal canónigo de Thorn, y conocido luego con más exactitud por Keplero, estas complicaciones aparentes de los movimientos celestes, que habían sido los escollos de los sistemas erróneos, se convirtieron en otras tantas confirmaciones luminosas de la verdadera teoría.

Análogas fueron las dificultades, pero mucho más graves y numerosas, que impidieron por largo tiempo á los astrónomos el descubrimiento de la naturaleza de los cometas y las leyes verdaderas de sus movimientos.

Hemos visto que los cometas aparecen en todas las regiones de la bóveda estrellada y que recorren en todos sentidos y con velocidades diversas todas las constelaciones posibles. El tercer cometa de 1739 y el cometa de 1472 que cita Pingré, describieron en un solo día, el primero un arco de 120 grados, es decir,

la tercera parte de una circunferencia celeste, y el segundo un arco de 41 grados y medio en longitud y de cerca de 4 grados en latitud. Su movimiento real era, cierto es, de contrario sentido al de la Tierra, de manera que su velocidad aparente se componía de la suma de las velocidades de ambos astros. En esto había, pues, un efecto de paralaje, es decir, además del movimiento del astro observado, el resultado del cambio de lugar ó dislocación propia del observador. Estos ejemplos pueden multiplicarse en gran manera, pero nos concretaremos á los siguientes: «El cometa de 1729, dice Lalande, que Cassini observó durante varios meses, después de haber recorrido más de 15 grados hacia el occidente desde la cabeza del Caballo pequeño hasta la constelación del Aguila, se encorvó repentinamente hacia el Este, lo que demostró de un modo palmario el efecto de la paralaje anua.»

Estos movimientos tan rápidos dependen de circunstancias fáciles de comprender, principalmente de la proximidad del cometa á nuestro globo y de la dirección de su movimiento respecto del movimiento de la Tierra. Lacaille imaginó una hipótesis en la cual el movimiento angular propio de un cometa alcan-

zaría una rapidez enorme. Supone el sabio astrónomo que se moviese un cometa en sentido contrario á nuestro globo en el mismo plano de la eclíptica; se encuentra en el perihelio á su distancia mínima del Sol, y por consecuencia en el punto de su órbita en que su velocidad es máxima.

Del mismo modo la Tierra, en el perihelio, camina con un movimiento más rápido de traslación. Por último, el cometa dista de la Tierra casi tanto como la Luna y se halla en oposición. La fig. 4 representa todas estas hipótesis, sin duda difíciles de realizar, pero no imposibles; por lo tanto supongámoslas reunidas. En estas condiciones particulares, se vería desde la Tierra que el cometa describía en el cielo un arco de cerca de 39° en longitud en la primera hora y de 32° en la hora siguiente. En el transcurso de tres horas el arco total recorrido en medio de las constelaciones llegaría á $92^{\circ} 58'$ con completa independencia del

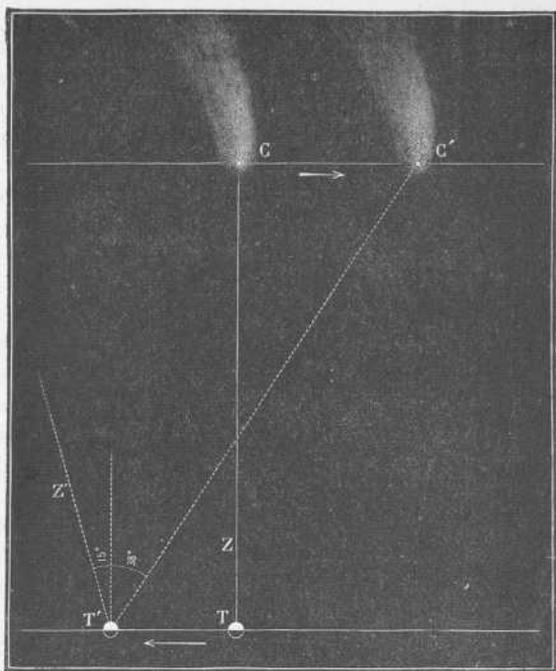


Fig. 4. - Movimiento máximo aparente de un cometa y de la Tierra

movimiento diurno, que aumentaría la velocidad en 15^0 por hora. Para un observador colocado cerca de los trópicos, se elevaría el cometa del horizonte al cenit en menos de dos horas; echaría más tiempo en recorrer la segunda mitad de su curso y pasar del cenit al horizonte.

El cálculo de Lacaille (modificado por Olbers á causa de un error) es, por otra parte, fácil de comprobar; no tiene nada de sorprendente si se considera que así el cometa como la Tierra caminan con su velocidad máxima; que nuestro globo en una hora, al estar en el perihelio, recorre en el espacio una distancia igual, próximamente, á nueve veces su diámetro (27.000 leguas); que el cometa posee una velocidad superior en cuatro décimos á la de la Tierra, recorriendo por su parte 38.000 leguas, y que ambos astros, por último, se han separado respectivamente en el sentido de su movimiento unas 65.000 leguas. Al cabo de un día se encontrarán el cometa y la Tierra á más de un millón de leguas uno de la otra.

Ahora comprenderemos á qué irregularidades aparentes pueden hallarse sometidos los cometas en lo relativo á sus movimientos, puesto que recorren el cielo en todos sentidos, en órbitas cuyos planos, como veremos pronto, cortan á la órbita terrestre con todo género de inclinaciones; pueden acercarse á la Tierra y alejarse de ella en espacios muy cortos, siguiendo al mismo tiempo el movimiento diurno, pues que su movimiento propio se encuentra complicado con el movimiento peculiar de la Tierra, que en astronomía se llama paralaje; cómo aparecen á veces repentinamente describiendo con celeridad una trayectoria en un sentido; cómo luego se moderan y se detienen para volver á caminar en sentido retrógrado, recorriendo un camino opuesto, y desaparecen, ora alejándose del Sol, ya sumergiéndose en sus rayos.

Estos movimientos y apariencias extraordinarias han sido la causa de los errores de los astrónomos durante tan largo tiempo, hasta que el genio de Newton, dirigido por una idea superior, explicó todos estos fenómenos, al parecer caprichosos.

Supuso Newton que los cometas estaban sometidos á las mismas tendencias que los planetas, y que eran arrastrados á la vez por una fuerza primitiva de impulsión y por la gravedad ó gravitación que los conduce hacia el foco de todos los movimientos de nuestro sistema, esto es, hacia el Sol. Tratemos de demostrar con ejemplos sencillos cuál debe ser la naturaleza de la órbita de un cuerpo sometido á semejantes influencias.

Supongamos una masa dotada de peso M , gravitando hacia el Sol (fig. 5) y al mismo tiempo animada de cierta velocidad debida á un impulso extraño á la gravitación; supongamos, para mayor sencillez, que M se encuentra en un punto en que esta velocidad presenta una dirección perpendicular á la del radio vector que une el astro y el Sol.

La forma geométrica de la órbita que el astro describirá alrededor del Sol va á depender únicamente de la relación que exista entre la velocidad inicial de que se trata y la distancia. Para un valor particular de esta relación, la curva descrita es un círculo cuyo centro ocupa el Sol, y el astro recorre con una velocidad uniforme é indefinida toda la circunferencia. La velocidad que para una distancia dada es susceptible de hacer describir un círculo á una masa sometida

además á la gravitación, es á lo que se llama velocidad circular. Una velocidad menor daría origen á una órbita elíptica, en cuyo caso el Sol, en vez de ocupar el centro de la elipse, se encontraría en uno de los focos más distantes de M, y el punto M sería el afelio del astro en movimiento.

Para una velocidad superior á la circular, sucedería lo contrario, la órbita sería también elíptica y el Sol estaría en uno de los focos; pero entonces M sería el perihelio y el astro no alcanzaría su distancia máxima al foco de atracción sino en el extremo opuesto del diámetro M S.

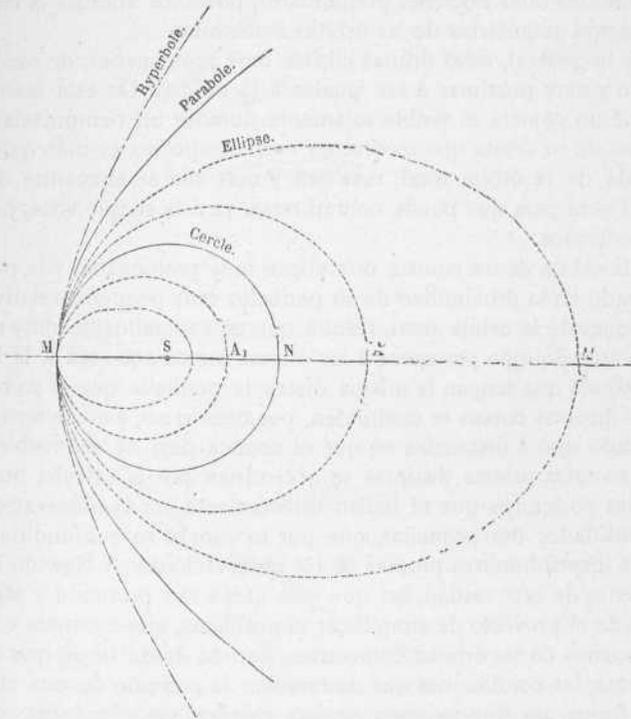


Fig. 5. - Relación entre las velocidades y las formas de las órbitas

Mientras mayor sea la velocidad inicial, más prolongada será la órbita y más considerable la excentricidad de la elipse; pero si esta velocidad llegara á ser igual á cierto valor determinado, esto es, igual á la *velocidad circular* multiplicada por el número 1,414 (ó por la raíz cuadrada de 2), en este momento la elipse cuyo eje mayor había alcanzado longitudes crecientes, que se había alargado progresivamente y de un modo muy rápido, se transformaría en una curva de ramas infinitas que se conoce con el nombre de parábola. Un astro que se encuentre animado de la velocidad correspondiente, ó de la *velocidad parabólica*, en el momento en que, alcanzando su mínima distancia al Sol, llega al perihelio, es un astro que viene del infinito y que al infinito vuelve; este astro, si es que existe, no pertenecería, pues, á nuestro sistema antes de llegar á la región del

cielo en que se hace preponderante la acción del Sol. Después de su paso por el perihelio se aleja del Sol indefinidamente, y, á menos de perturbaciones ocasionadas por los planetas, vuelve de nuevo á ser extraño á nuestro sistema.

Finalmente, para examinar todos los casos posibles, hay que considerar también este otro: cuando la velocidad del astro en el perihelio supere al valor de la velocidad parabólica, la órbita descrita es siempre una curva de ramas infinitas; pero entonces se convierte en una hipérbola, de la cual ocupa el Sol uno de los focos (fig. 6).

Comprendidas estas nociones preliminares, podemos abordar la cuestión de la determinación geométrica de las órbitas cometarias.

Son, por lo general, estas órbitas elipses muy prolongadas, de excentricidad considerable y muy próximas á ser iguales á la unidad. De esta manera se explica por qué un cometa es visible solamente durante un tiempo relativamente corto; el arco de su órbita que recorre en este tiempo no es más que una porción limitada de la órbita total; más acá y más allá se encuentra demasiado lejos de la Tierra para que pueda columbrarse, ya á la simple vista, ora con telescopios poderosos.

Siendo la órbita de un cometa una elipse muy prolongada, y la porción del arco observado en la proximidad de su perihelio muy pequeña, relativamente á las dimensiones de la órbita total, resulta que es generalmente muy difícil distinguir este arco del que pertenece á las elipses inmediatas, sea á la hipérbola, sea á la parábola que tengan la misma distancia perihelia que el cometa observado. Estas diversas curvas se confunden, por decirlo así, y no se separan de un modo marcado sino á distancias en que el cometa deja de ser visible; las posiciones que en estas órbitas distintas se obtendrían por el cálculo, no se distinguirían de las posiciones que se hallan directamente por la observación, ó diferirían en cantidades tan pequeñas, que por lo común se confundirían con los errores ó las incertidumbres propias de las observaciones. A Newton se debe el reconocimiento de esta verdad, así que este genio tan profundo y sagaz concibió en seguida el proyecto de simplificar el problema, que consistía en determinar los elementos de las órbitas cometarias. Supuso desde luego que las órbitas eran parábolas; las condiciones que determinan la posición de esta curva en el espacio, la forma, las dimensiones, en una palabra, sus elementos, son menos numerosos, más sencillos que los de una órbita elíptica.

Veamos, pues, cuáles son los elementos de una órbita parabólica; una parábola es una curva plana, es decir, que todos sus puntos se hallan situados en un mismo plano, y en este caso se presenta la particularidad de que ha de pasar precisamente por el centro del Sol. La primera condición se contrae, pues, á definir su posición verdadera en el espacio, lo cual se conseguirá si se conocen, de una parte, la línea de intersección de este plano con el plano de la órbita de la Tierra ó con la eclíptica, y de otra, la inclinación ó ángulo que ambos planos forman entre sí.

El cometa en su movimiento corta necesariamente á la eclíptica en dos puntos diametralmente opuestos, que son los dos nodos, y la línea que los une se llama línea de los nodos; bastará conocer uno de los nodos, por ejemplo, el nodo ascendente, es decir, el que corresponde al paso del cometa de la región del

Cielo situada al Sur de la eclíptica, á la región situada en la parte Norte; la distancia de este punto al cero de la eclíptica, contada en grados, minutos y segundos, se llama longitud del nodo ascendente ó con más brevedad longitud del nodo; pero el plano de la órbita permanece indeterminado si no agregamos un segundo elemento que se llama su inclinación.

Si por el centro del Sol se trazan dos líneas rectas, perpendiculares ambas á la línea de los nodos, en la eclíptica la una, y la otra en el plano de la órbita

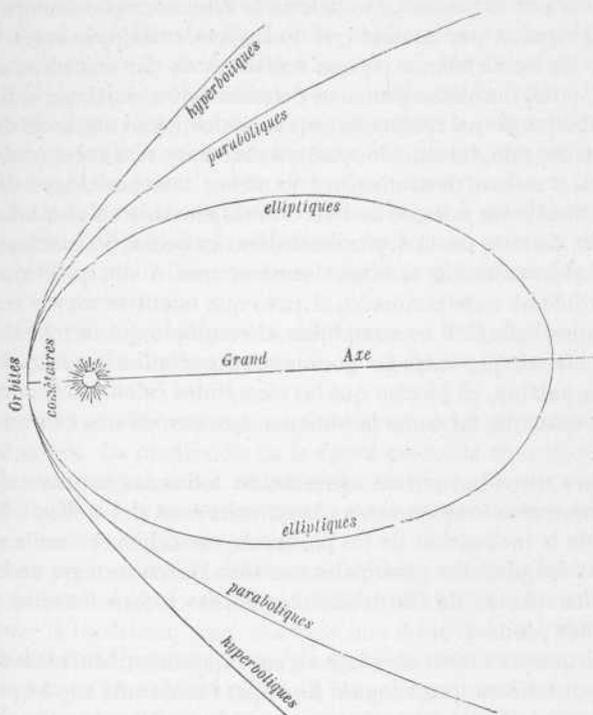


Fig. 6. — Órbitas cometarias elíptica, parabólica é hiperbólica

del cometa, estas líneas formarán entre sí dos ángulos, de los que el menor mide el ángulo de ambos planos, que es la inclinación.

Queda por determinar la curva que describe el cometa en el plano conocido por la longitud del nodo y la inclinación; en primer lugar hay que saber en qué punto se encuentra el astro en el perihelio ó á su distancia mínima del Sol, y conocido que sea, queda determinado el vértice de la parábola si á la longitud del perihelio se agrega otro elemento, que es la distancia perihelia, la cual se mide, como todas las distancias celestes, en partes del semieje mayor de la órbita terrestre.

En este momento está ya definida por completo la curva parabólica descrita por el cometa, en posición en el espacio y en magnitud. Resta, sin embargo, saber en qué sentido la recorre y también en qué épocas ocupa el astro tal ó cual

posición determinada en esta órbita. Para conocer la dirección se supone la parábola rebatida sobre el plano de la eclíptica por el lado en que su inclinación es menor, ó más claro, proyectada sobre el plano de la órbita terrestre. El sentido del movimiento se llama *directo*, si considerado desde arriba ó desde la región boreal del cielo, se efectúa, como el de la Tierra y de todos los planetas, de derecha á izquierda, ó de Occidente á Oriente; se dice que es *retrogrado* cuando tiene lugar en dirección contraria. Por último, al dar la fecha exacta del paso del cometa por el perihelio, se hallará la órbita completamente definida en el tiempo y el espacio, por manera que todas las demás posiciones se deducen por el cálculo de los elementos de que acabamos de dar una idea.

Tales son, pues, los elementos cuya determinación es necesaria para conocer la órbita parabólica de un cometa; estos elementos no se obtienen directamente de la observación, sino del cálculo, cuando el cometa se ha observado cierto número de veces, y se han determinado á lo menos tres posiciones del astro con bastante exactitud; este número de tres es indispensable en absoluto, y para que la curva que se deduce sea la órbita verdadera, es necesario que las observaciones se hayan efectuado con el mayor esmero; una ó dos posiciones del astro dejarían el problema indeterminado; al paso que mientras mayor sea el número de observaciones, más fácil es comprobar el resultado que arroja el cálculo. Es necesario, en efecto, que todas las posiciones observadas se refieran á la misma órbita; en una palabra, es preciso que las efemérides calculadas concuerden con la trayectoria aparente, tal como la obtienen los astrónomos con auxilio de sus instrumentos.

Antes vimos que los cometas aparecen en todas las regiones del cielo, en vez de moverse, como los planetas, en la estrecha zona del zodíaco. Esta diferencia proviene de la inclinación de los planos de sus órbitas sobre la eclíptica. Al paso que entre los planetas principales tan sólo Mercurio tiene una inclinación de 7 grados, los planos de las órbitas cometarias toman entre 0° y 90° todas las inclinaciones posibles.

Entre los cometas observados hay algunos que describen verdaderas órbitas parabólicas, por manera que, después de haber venido una vez á encontrarse en la esfera de acción del Sol, han vuelto en seguida á alejarse de ella para siempre; y entre aquellos cuya periodicidad se ha calculado, los hay también que describen elipses tan prolongadas, que para nosotros y nuestros descendientes pueden considerarse como de reaparición indefinida.

El gran cometa de 1769 (excentricidad 0,9992) tiene un período de veintiún siglos próximamente; en su afelio llegará á un punto del espacio cuya distancia á la Tierra se mide por 327 veces el espacio que hay de nuestro globo al Sol. Los cometas de 1811 y de 1680 (excentricidades 0,9951 y 0,9999), el primer cometa de 1780 y el de julio de 1844 no volverán á su perihelio sino después de viajes cuya duración será, para el primero, de 75.840 años y para el segundo de cerca de mil siglos. Estos astros se sumergirán en el éter á distancias tan considerables, que en su afelio se hallarán separados de nuestro mundo cerca de 4.000 veces el espacio que media de la Tierra al Sol.

Si los cálculos, en verdad solamente aproximados, sobre que descansan estas inciertas evaluaciones no son rigurosamente exactos, no por eso dejan de mos-

trar que los cometas á que se refieren siguen siendo siempre parte integrante de nuestro sistema; su alejamiento más considerable es aún 50 veces menor que el de las más próximas estrellas, por lo cual el Sol ha de ejercer siempre sobre estos astros y sus masas una acción preponderante, atrayéndolos incesantemente hacia las regiones del cielo que recorre nuestra Tierra, siempre que las perturbaciones que pueden causar los planetas no vengan á influir en su curso y á modificar los elementos de sus órbitas.

Digamos ahora algunas palabras acerca de una cuestión mal comprendida generalmente por el público, á pesar de las explicaciones reiteradas de los astrónomos. Nos referimos á la predicción ó anuncio de los cometas.

¿Es posible predecir la aparición de un cometa cualquiera?

En estos términos suele plantearse por lo común la pregunta anterior; el público, que tiene fe en la ciencia astronómica, sin poseer, sin embargo, nociones bastante extensas, se resuelve por la afirmativa y cree que los sabios que se dejan sorprender por la aparición de un cometa faltan á sus deberes de astrónomos y observadores, si un simple aficionado ha sido el primero en descubrir el nuevo astro, y faltan á sus deberes de calculadores geómetras si no lo han anunciado.

Estos cargos, por lo común, son completamente infundados y descansan en una idea falsa del poder de la ciencia y de la naturaleza verdadera de las órbitas cometarias.

Hay cierto número de cometas, cuyas reapariciones se anuncian y calculan por los astrónomos. La predicción de la época probable en que estos astros deben encontrarse en regiones del cielo desde donde puedan ser visibles para los habitantes de la Tierra, y la determinación de la época de sus pasos por el perihelio, pueden hacerse con cierta exactitud.

A esta clase pertenecen los cometas cuya órbita, calculada por un número suficiente de observaciones, no es ni parabólica, ni ninguna otra curva de ramas infinitas, como la hipérbola, sino más bien una órbita cerrada y elíptica, que el astro recorre indefinidamente; son, en una palabra, los *cometas periódicos*.

Vimos antes que Newton, al asignar á los cometas una órbita parabólica, tan sólo se había ocupado del arco, muy corto siempre, que describen en la proximidad de su perihelio, cuando su distancia á la Tierra, débil en proporción, hace que la observación sea posible. En su juicio, eran los cometas astros sujetos á períodos regulares, que describían elipses muy prolongadas, cierto, pero en un todo semejantes á las órbitas planetarias. La comprobación de la primera periodicidad cierta de un cometa, su vuelta segura en la misma órbita, ha sido, pues, para la teoría newtoniana, una confirmación y un triunfo admirable. A Halley corresponde la gloria de la primera predicción, y á Newton la posibilidad de hacerla; pero ninguno de estos ilustres bienhechores vivió lo bastante para presenciar la comprobación de la teoría. Después de aquella fecha se han multiplicado los ejemplos de igual índole, y los cometas cuya vuelta pudo calcularse y que luego han sido vistos en efecto, aumentaron de día en día, y hoy contamos con un número relativamente grande. Al lado del sistema planetario va á levantarse otro edificio, y como esta historia es de bastante interés é instrucción, conviene que la relatemos con algunos detalles.

Pero antes procuraremos dar una idea de los métodos que emplearon los astrónomos para negar á reconocer la periodicidad de un cometa.

Cuando un cometa nuevo ó que se cree nuevo aparece repentinamente, ¿puede decirse si se ha visto y observado en una época anterior? La contestación á esta pregunta es el fundamento del primer método, que ha servido para resolver el problema propuesto. Pero esta contestación no es tan fácil de dar si la aparición ó apariciones anteriores del cometa no han sido objeto de observaciones algo exactas, y si la tradición se limita únicamente á alguna indicación vaga de su magnitud, del brillo de su núcleo y de la forma ó dimensiones de la cola. El aspecto exterior de un cometa y su carácter físico son, por lo general, insuficientes; más adelante veremos, en efecto, que estos caracteres son muy variables y que el aspecto de un cometa cambia en el curso de una sola aparición; pero aunque permaneciesen constantes las circunstancias de su visibilidad, bastaría su distancia á la Tierra para impedir la comprobación de la identidad de ambos astros. Cualquier cometa visto en otro tiempo con un resplandor extraordinario, puede, al aparecer de nuevo, presentar tan sólo una débil nebulosidad. Hubiera sido difícil reconocer el mismo astro en el cometa de 1607, cuya luz pareció á Keplero tan débil y pálida, y en el de 1682, que Lahire y Picard asimilan á una estrella de segunda magnitud, y en el de 1759, que apareció á Messier como una estrella de primera magnitud, y por último, en el famoso de 1456, que todos los observadores, salvo dos polacos, dice Pingré, están conformes en representarnos como grande, terrible, de magnitud extraordinaria, arrastrando tras sí una cola larguísima, la cual cubría dos signos celestes, ó sean 60° . Sin embargo, se trata en todos estos casos de un solo y único cometa. Es verdad que los astrónomos desconfían hoy día, y con justo motivo, de estas descripciones, casi siempre exageradas, de los antiguos cronistas; pero precisamente por esto no es posible apoyarse en una semejanza de aspecto para establecer la identidad de dos cometas, y por consecuencia, su periodicidad. Hacen falta elementos de comparación más exactos, principalmente relativos á la órbita parabólica, cuando la tradición ha conservado verdaderas observaciones, esto es, posiciones y sus fechas correspondientes, que permitan el cálculo de la órbita, y cuando, en una palabra, en vez de haber sido visto el cometa sencillamente, se ha observado en sentido astronómico.

El segundo método consiste en calcular directamente los elementos elípticos; se supone que las observaciones que sirven de fundamento son muy exactas, sobre todo si la órbita es muy prolongada, puesto que entonces hay muy poca diferencia, entre el curso aparente que sigue el cometa en las diversas hipótesis de una parábola, de una elipse muy excéntrica ó de una hipérbola. Euler aplicó este método al cometa de 1774, hallando primero una órbita hiperbólica, según las observaciones efectuadas en Berlín; calculando de nuevo el ilustre geómetra sobre unas observaciones de Cassini, halló una órbita elíptica muy prolongada y un período de varios siglos. El primer ejemplo de una órbita elíptica calculada con precisión por este segundo método es el del cometa de Lexel ó de 1770, cuyo período era corto (cinco años y medio) y su órbita relativamente poco prolongada, pero que por desgracia, como luego sabremos, ha sufrido enormes perturbaciones y no ha vuelto á verse jamás. Posteriormente

se ha hecho uso del cálculo directo del movimiento elíptico, sin verificar comparaciones con las anteriores observaciones, para un gran número de cometas, y para varios de ellos con éxito satisfactorio, toda vez que la reaparición de los cometas periódicos de Faye, de Brorsen, de Arrest y de Winnecke se ha comprobado por observaciones exactas y numerosas.

Halley publicó en 1705 su catálogo de 24 cometas; comparando sus elementos, notó que tres de ellos, los de 1531, 1607 y 1682, presentaban órbitas casi idénticas, y desde entonces sospechó que estos tres astros debieran ser uno solo; hizo más, anunció el primer regreso del cometa para el año 1758.

Posteriormente, en 1749, al publicar Halley diez años antes del regreso anunciado, y tres años tan sólo antes de su muerte, sus *Tablas astronómicas*, vuelve á hablar de su predicción en términos más explícitos. «Tal es, dice, la concordancia de los elementos de estos tres cometas, concordancia bien extraña si se tratara de tres distintos cuerpos; si vuelve, pues, á presentarse, según nuestro anuncio, hacia el año 1758, *la posteridad se acordará de que á un inglés se debió este descubrimiento.*»

La posteridad recuerda y la ciencia consagra la reivindicación del astrónomo inglés, dando su nombre al primer cometa cuya vuelta periódica, anunciada de antemano, ha sido confirmada por la observación.

Pero del propio modo tiene que ser justa la posteridad dando una parte legítima de gloria á los astrónomos franceses Clairaut y Lalande que dieron feliz cima á la obra de Halley, calculando el retardo que el cometa de 1682 debía experimentar en su viaje de 76 años; esta segunda parte de la historia de un gran descubrimiento es quizás más asombrosa aún y más instructiva que la primera.

En efecto, á medida que se aproximaba la época de la reaparición anunciada por Halley, todos los astrónomos de Europa, preocupados con este gran acontecimiento científico, se preparaban á seguir la observación. La fecha de la reaparición no se conocía con certeza, pues como Halley había indicado, los períodos conocidos presentaban cierta desigualdad; de 1531 á 1607 habían transcurrido 27.811 días; de 1607 á 1682, 27.352, con una diferencia de 459 días entre los pasos por el perihelio.

Varios sabios hicieron distintos cálculos y diversas hipótesis sobre el curso del cometa en su reaparición, y también sobre la fecha en que ésta hubiera de tener lugar y que se aguardaba desde 1757.

Entonces fué cuando un eminente geómetra, el gran Clairaut, se propuso resolver rigurosamente el problema iniciado por Halley, y calcular las perturbaciones que el cometa de 1682 había debido sufrir al pasar próximo á los planetas, sobre todo cerca de Júpiter y Saturno. Esta empresa era de una inmensa dificultad; por lo tanto Clairaut, falto de tiempo, reclamó el concurso de Lalande, uno de los más sabios astrónomos que ha producido Francia. Una mujer, madama Hortensia Lepaute, se encargó de parte de esta penosa tarea, y gracias á la abnegación científica de estos tres dignos colaboradores, pudo terminarse el trabajo en el mes de noviembre de 1758, presentando Clairaut á la Academia de Ciencias una Memoria de la que extractamos lo que sigue:

«El cometa que se aguardaba hace más de un año, ha llegado á ser objeto

de un interés mucho más vivo del que suele tomar el público en las cuestiones astronómicas. Los verdaderos amantes de la ciencia desean su vuelta, porque de ella debe resultar una hermosa confirmación de un sistema en cuyo favor militan casi todos los fenómenos. Los que, por el contrario, se complacen en ver á los filósofos sumidos en la incertidumbre, esperan que no vuelva, y que tanto los descubrimientos de Newton, cuanto los de sus partidarios, se nivelen é igualen con las absurdas hipótesis engendradas por la imaginación. Varias personas de esta última clase se consideran ya triunfantes, y para éstas un año de retraso, que no se debe sino á predicciones destituidas de fundamento, basta para que consideren como inexacto el sistema de los newtonianos. Trato de demostrar aquí que este retraso, lejos de perjudicar al sistema de la gravitación universal, es, al contrario, su consecuencia necesaria, que debe ir aún más allá, é intento señalar sus límites.»

El retardo hallado por Clairaut fué de 618 días en el paso del cometa por su perihelio en 1759; 100 días correspondían á la acción de Saturno y 518 días á la de Júpiter, lo que fijaba el paso para mediados del mes de abril. A pesar de esto, anunciaba Clairaut con gran prudencia su inmenso trabajo, prudencia exigida por la incertidumbre que presentaban algunas causas desconocidas de perturbaciones, y finalmente, por el temor de que hubieran podido deslizarse algunos errores en las numerosas y delicadas operaciones llevadas á cabo. Todas estas incertidumbres acumuladas podían, según el ilustre geómetra, alterar el término en un mes; se vió el cometa, efectivamente, el 25 de diciembre de 1758 por un labrador alemán llamado Palitsh, de las cercanías de Dresde. Advertidos los astrónomos, observaron el astro, y bien pronto supieron demostrar que el paso por el perihelio debía verificarse el 13 de marzo de 1759, treinta y dos días antes de la época calculada por Clairaut. Este triunfo de la teoría produjo en el mundo científico una impresión profunda, análoga á la que causó un siglo más tarde el descubrimiento de Neptuno, y que ya hemos referido. He aquí en qué términos se expresa Lalande sobre este punto:

«Este año ve el universo el fenómeno más satisfactorio que jamás nos ofreció la astronomía; suceso único hasta hoy, que cambia nuestras dudas en certidumbres y en demostraciones nuestras hipótesis...»

Tuvo lugar otra reaparición del cometa de Halley en 1835, en la que se pudieron comprobar los progresos realizados por la astronomía teórica durante el período de setenta y seis años que había empleado el cometa en recorrer una vez más su órbita. En efecto, tomando por punto de partida el paso perihelio de 1759 y siguiendo el camino trazado por Clairaut, dos astrónomos abordaron separadamente el problema laborioso de determinar la época del paso por el perihelio, teniendo en cuenta las acciones perturbadoras de los planetas. Entre las causas perturbadoras desconocidas que Clairaut no pudo calcular, pero que entraron en las investigaciones de los sabios posteriores, figura el planeta Urano, descubierto, como sabemos, por Herschel en 1781.

Cometa de Encke. — Uno de los observadores más laboriosos y de los que más se han ocupado del descubrimiento de los cometas, fué Pons; este astrónomo descubrió en Marsella en 1818 un cometa que pasaba por el perihelio el 27 de enero siguiente, y cuyos elementos parabólicos, comparados á los de los come-

tas catalogados en aquella época, hicieron sospechar luego que había sido observado en 1805. Esta idea se le ocurrió á Arago, cuando Bouvard presentó á la Oficina de las Longitudes sus trabajos, pues los elementos parabólicos de los dos astros eran muy semejantes.

Encke llevó á cabo el cálculo de los elementos elípticos de la órbita del nuevo cometa, por lo que se le dió el nombre del famoso director del Observatorio de Gotha, aunque también se le llama *cometa de corto período*, en oposición al cometa de Halley, cuya revolución es mucho más larga. El cometa de Encke, en efecto, recorre su órbita en unos 1.210 días, ó sea en 3 años y 3 décimas.

«Teniendo en cuenta únicamente, dice Poissón, la rapidez de sus revoluciones sucesivas, pudiera considerarse este astro como un planeta; pero se ha seguido clasificando entre los cometas á causa de las apariencias que ofrece, y porque no es visible para nosotros en todas las porciones de su órbita.» Y en verdad que, en la época en que Poissón escribía su *Memoria*, aún se creía en la prolongación extremada de todas las órbitas cometarias, y, por lo tanto, parecía improbable que un cometa pudiera tener una revolución de tan corto período. Pero las observaciones sucesivas de sus regresos disiparon estas dudas, y bien pronto se descubrieron nuevos cometas periódicos, que justificaron la posibilidad de órbitas cometarias comparables, por su escasa excentricidad relativa, á las órbitas de los mismos planetas.

El primer regreso del cometa de corto período por su perihelio tuvo lugar hacia fines de mayo de 1822; Encke calculó la fecha de este regreso y también sus efemérides; luego, llevando en cuenta las perturbaciones que hubiera debido experimentar el cometa en su revolución precedente, con motivo de su paso en la proximidad de Júpiter, demostró que su período debiera de haber sufrido un aumento de nueve días. A más, el cometa había de ser invisible en Europa, y en efecto, tan sólo se observó en el hemisferio meridional, en la Australia.

Cometa de Biela ó de Gambart. — Tan sólo transcurrieron siete años entre el descubrimiento del cometa de Encke y el de Biela ó Gambart, que también hubiera podido llamarse cometa de corto período, toda vez que efectúa cada una de sus revoluciones en menos de siete años.

La primera observación del nuevo astro se debe á un comandante austriaco llamado Biela, que lo vió en Johannisberg el 27 de febrero de 1826; diez días después fué observado en Marsella por el astrónomo Gambard, el cual, después de haber calculado los elementos aproximadamente de la órbita parabólica, reconoció inmediatamente su semejanza con los de la órbita de un cometa que se había observado en 1805 y en 1772.

Los cálculos definitivos fueron efectuados por Gambard y Clausen, hallando ambos resultados que concordaban, y asignaron al cometa, como período de revolución, seis años y tres cuartos.

Su próximo regreso por el perihelio pudo, pues, ser predicho por Damoiseau, quien llevando en cuenta las perturbaciones, fijó su vuelta para el 27 de noviembre de 1832; el cometa acudió, en efecto, á la cita, pero un día antes, esto es, el 26 de noviembre. De esta manera se perfeccionaba más cada vez la teoría de las órbitas cometarias, fundada en la ley de la gravitación universal.

Contando las apariciones anteriores de 1772 y 1805, el cometa de seis años

y tres cuartos ha sido observado en siete de sus regresos, en 1826, 1832, 1846 y 1852, y hubiera debido serlo en 1839, 1859 y 1866.

«En 1839, dice Delaunay, no pudo observarse á causa de la posición desfavorable de su órbita en la época de su paso por el perihelio.» Este paso, en efecto, debió verificarse en los primeros días del mes de julio, y así antes, como después de esta fecha se encontraba el cometa muy próximo en la apariencia al Sol, y por lo tanto, confundido entre sus rayos. Casi ocurrió lo mismo, en su paso de 1859, el cual debió tener lugar á principios de junio. Por último, en 1866, si bien el cometa no debía distar mucho de la Tierra en las inmediaciones de su perihelio (26 de enero), no pudo columbrarse á pesar de toda la diligencia y cuidado de los astrónomos que emplearon para hallarlo sus más potentes instrumentos. Pogson lo vió en Madrás por última vez el 2 y 3 de noviembre de 1872.

La historia del cometa de Biela ha proporcionado á la astronomía física algunos detalles muy curiosos. A partir de 1846, se encontró el astro dividido en dos cometas distintos, que hoy día figuran en los catálogos con sus órbitas particulares. Además, en 1832 tuvo, como el cometa de 1773, el privilegio de ocasionar espantos, que en aquella época carecían de fundamento. Se trataba sencillamente de un choque entre el cometa y la Tierra en el mes de noviembre de 1872; luego nos ocuparemos más detalladamente de este fenómeno original.

En la actualidad se conocen diez y siete cometas periódicos cuya vuelta se ha observado, y son los llamados de Encke, Tempel, Brorsen, Tempel-Swift, Winnecke, Vico, Tempel, Finlay, Arrest, Biela, Wolf, Brooks, Faye, Futtle, Pons, Olbers y Halley, colocados por orden según el tiempo que invierten en efectuar su revolución sidérea, siendo el de período más corto el de Encke, de 3,3 años, y el más largo el de Halley, de 76,08 años; el período de los trece primeros no pasa de 7,5 años; el 14, ó de Futtle, invierte 13,79 años, y los tres últimos más de 71 años.

Estos diez y siete cometas son hasta hoy los únicos que pueden considerarse como pertenecientes en definitiva al grupo de astros que componen el mundo solar; pero no son los exclusivos que deben estimarse como periódicos por efectuar con regularidad sus revoluciones en torno del Sol. Entre los numerosos cometas cuyas órbitas parecen elípticas, unos se consideran como nuevas apariciones de cometas observados anteriormente, y por la gran semejanza de sus elementos parabólicos se admite que son periódicos. Únicamente que, ó bien no han regresado aún á su perihelio á causa del largo período de su revolución, ó bien no se han presentado en circunstancias favorables para observar su vuelta, ó también, hipótesis asimismo probable, han sido perturbados en su marcha por la proximidad de las masas planetarias, cuyas perturbaciones pueden modificar considerablemente sus períodos y aun expulsarlos fuera de la esfera de atracción del Sol, es decir, fuera del mundo solar, del que hasta entonces y momentáneamente formaban parte.

Otros cometas, sin que puedan asimilarse á los ya observados, tienen órbitas elípticas determinadas por el cálculo; pero, por las mismas razones que acabamos de enumerar, no se han vuelto á ver; es decir, que presentan períodos demasiado largos y se han hallado bajo el influjo de causas perturbadoras.

Vamos á pasar revista á los principales cometas de ambas categorías, dividiéndolos en tres clases para mayor claridad.

1.º *Cometas de período corto*; á saber, los que efectúan sus revoluciones en algunos años, como los catorce que hemos indicado antes; todos los cometas de esta primera clase son interiores, porque sus órbitas no pasan de los límites de las órbitas planetarias, ó en otros términos, porque en su afelio se hallan aún á una distancia del Sol menor que la distancia de Neptuno.

2.º *Cometas de período medio*; á saber, que describen sus órbitas en menos de dos siglos, como los tres últimos; sus órbitas no son internas y se alejan más del Sol que el más distante de los planetas.

3.º *Cometas de período largo*, cuyas revoluciones pasan de dos siglos y llegan hasta cientos de miles y aun á millones de años. Estos últimos se sumergen

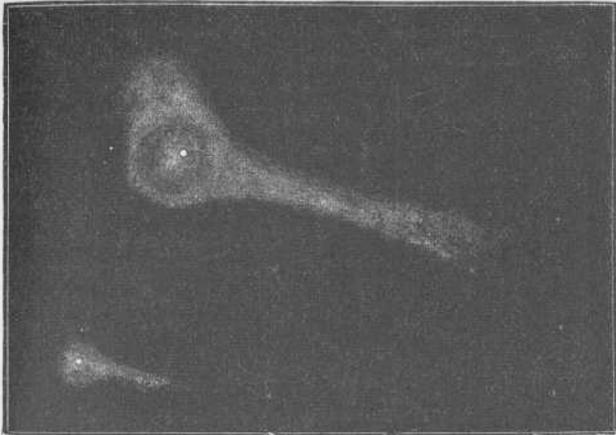


Fig. 7. — Cometa de Biela ó de Gambart desdoblado

en el espacio á distancias enormes que superan en mucho los límites del mundo planetario.

Durante el mes de febrero de 1743 se observó en París, Bolonia y Berlín un cometa cuyos elementos parabólicos fueron calculados por Struyck y Lacaille. Un geómetra moderno, Clausen, reconoció en este astro un cometa de período corto que efectuaba su revolución en 5 años y 5 meses. ¿Será el mismo cometa que se vió en noviembre de 1819? En este caso se hubiera alterado notablemente su revolución, puesto que los cálculos de Encke asignan á este último un período de 4 años y 10 meses.

El cometa de que ahora vamos á ocuparnos es famoso en la historia de la astronomía; he aquí las circunstancias de su primera aparición según una Memoria de Le Verrier:

«Distinguió Messier durante la noche del 14 al 15 de junio de 1770 una nébula situada en la constelación de Sagitario, no perceptible á la simple vista; era un cometa que comenzaba á presentarse. El 17 de junio se hallaba el nuevo astro rodeado por una atmósfera cuyo diámetro se elevaba á $5' 23''$ y en cuyo centro

tro aparecía un núcleo; su luz tenía el mismo brillo que las estrellas, y su diámetro, según Messier, medía 22 segundos de arco.

»El cometa, sin embargo, se aproximaba rápidamente á la Tierra; el 21 de junio se le distinguía á la simple vista, y tres días después brillaba como las estrellas de segunda magnitud. El diámetro de la nebulosidad, que aún no pasaba de 27 minutos, se agrandó sucesivamente hasta alcanzar $2^{\circ} 23'$ en la noche del 1.º al 2 de julio. Pero al paso que el diámetro aparente crecía de esta suerte, según las leyes de la óptica, en razón inversa de la distancia del astro á la Tierra, el diámetro del supuesto núcleo permanecía, por el contrario, invariable.

»A contar del 4 de julio se perdió el cometa en los rayos del Sol y dejó momentáneamente de ser visible. Pingré, apoyándose en las observaciones de Messier, le calculó una órbita parabólica; se reconoció que el cometa volvería á ser visible en agosto, y Messier pudo observarlo de nuevo el 4 de este mes. Desde esta época lo distinguió casi sin interrupción, pero como cada vez se alejaba más del Sol y de la Tierra, dejó de ser sensible en los primeros días de octubre.

»Antes de su paso por el perihelio no se llegó á percibir ningún indicio de cola; pero del 20 de agosto al 1.º de septiembre presentó el cometa una cola muy débil, cuya longitud era próximamente de un grado.

»Los elementos parabólicos dados por Pingré satisfacían á las primeras observaciones, pero se alejaban mucho de las últimas. Otros elementos calculados por Slop, Lambert, Prosperin y Widder no ofrecían tanta exactitud. Generalmente se achacaron todas las dificultades á una dislocación de la órbita causada en junio por la acción de la Tierra. Sospechó Prosperin, sin embargo, que muy bien pudiera ser elíptica la órbita del cometa, pero no llegó á comprobar esta hipótesis.

»Por fin Lexell reconoció que el cometa giraba en una elipse, la cual recorría en 5,585 años (poco más de cinco años y medio).

»Pero, decía Messier, si el período de revolución de este cometa es tan sólo de cinco años y medio, ¿cómo es que no se le ha observado más que una vez? Esta objeción, que puede oponerse á las investigaciones de Lexell, es bastante poderosa.

»Lexell contestó: Como la distancia afelia del cometa al Sol es casi igual á la distancia de Júpiter á este astro, nace aquí la sospecha de que el movimiento de este cometa hubiera sido perturbado en alguna época por la acción de Júpiter, de manera que hubiese descrito una órbita en un todo diferente de la que en la actualidad recorre.»

El cometa de Lexell ó de 1770 no ha vuelto á verse desde fines del siglo último. Se trata, pues, de un cometa que si no se ha *perdido*, anda al menos *extraviado*, y se concibe el extraordinario interés que presenta para los astrónomos el problema de saber lo que ha sido de este astro. Varios matemáticos intentaron resolverlo después de Lexell, entre otros Burckhardt, Laplace, y por último, Le Verrier.

Según Laplace, hay que atribuir á la acción de Júpiter que el cometa fuera visible en 1767, por haber acertado su distancia perihelia, y la misma acción alargando esta distancia lo hizo invisible para siempre.

Aquí tenemos, pues, un cometa que hay que considerar como perdido para

nuestro mundo, ó cuando menos para los astrónomos, pues aun suponiendo que regrese, ¿será posible reconocer su identidad?

El 22 de agosto de 1844 descubrió en Roma un cometa el P. Vico; los elementos elípticos calculados por Faye y Brunow demuestran que el período de revolución era tan sólo de cinco años y medio, ó con más exactitud 1.996 días; de modo que, haciendo caso omiso de las perturbaciones, debía regresar al perihelio en febrero de 1850, luego en agosto de 1855, enero de 1861, julio de 1866 y diciembre de 1871; su próximo paso por el perihelio se aguardaba para el mes de junio de 1877, y no fué visto ni en sus primeros regresos anunciados, ni en los últimos; en 1894 se le vió, pero extremadamente débil: podemos considerar, pues, este cometa como perdido ó extraviado. También se ha supuesto que el cometa de Vico fuese una reaparición del cometa de Lexell, con el cual no deja de presentar alguna semejanza, aunque vaga. Según Le Verrier, se trata de dos astros distintos por completo, y este mismo astrónomo rechaza las conclusiones de Mauvais y Laugier, que consideraban el cometa de 1844 como idéntico al de 1585; pero acepta como muy probable que el cometa de Vico se hubiera observado ya en 1678. Veamos lo que decía este grande astrónomo en 1847, antes de la época fijada para el primer regreso del cometa de Vico.

«El cometa de 1844 ha podido, como los demás, venir de las regiones más lejanas y fijarse entre los planetas bajo el influjo de la potente acción de Júpiter. Su ingreso se remonta, sin duda alguna, á muchos siglos; desde esta época ha pasado con frecuencia en la proximidad de la Tierra, pero tan sólo una vez se le había observado en los siglos anteriores, 166 años antes de la aparición de 1844 (que es el regreso de 1678 mencionado en las páginas anteriores). Este cometa recorrerá largo tiempo aún la órbita restringida que le vemos describir en nuestros días. En cierto número de siglos, no obstante, alcanzará de nuevo la órbita de Júpiter en una dirección opuesta á la que trajo al penetrar en nuestro sistema planetario, y su curso se alterará una vez más. Puede ser que hasta el mismo Júpiter lo devuelva á los espacios de donde lo había arrancado.»

En la época de su mayor visibilidad, que fué en septiembre de 1678, pudo distinguirse el cometa de Vico á la simple vista durante varios días. En 1844 era telescopico y no presentaba, por otra parte, ninguna particularidad notable; su nebulosidad, en forma de abanico, tenía un núcleo circular bastante bien detallado, y una cola corta, y de color azulado, se extendía al lado opuesto al Sol.

Entre los cometas de corto período calculados sin que se hayan vuelto á ver, citaremos aún el de 1776, cuya revolución, según Burckhardt, sería de cinco años, y que quizás es una aparición anterior del cometa descubierto por Pons en junio de 1819; este último, según Encke, tendría un período de 5'6 años, habiéndose alterado su órbita en el intervalo por las perturbaciones planetarias. Inmediatamente después viene el cometa descubierto el 26 de junio de 1846 por Peters; su revolución sería de 16 años, pero no ha vuelto á verse más. Finalmente, en 1873 descubrió Stephan en Marsella un cometa cuya órbita elíptica tendría un período de 1.850 días ó algo más de cinco años. Se lo volvió á ver en 1878 y 1894.

Otros cuatro cometas periódicos, uno de los cuales nos ocupará más adelante cuando tratemos de la conexión que existe entre los cometas y las estrellas fugaces, deben también clasificarse entre los cometas interiores, pues ya no es posible decir de corto período, que no han sido vueltos á ver. Uno es el cometa I de 1866 de Tempel, que efectúa su revolución en un período de 33,176 años, ó 33 años y 64 días. Pasó por el perihelio el 11 de enero de 1866, y por consecuencia debía regresar en la primavera de 1899. Este cometa se aproxima al Sol á una distancia algo menor que la de la Tierra, pero en su afelio va más allá de la órbita de Urano. Se consideran los cometas de 868 y de 1366 como apariciones anteriores del cometa de 33 años; habrá regresado, pues, desde la primera de estas fechas, 29 veces al perihelio sin haber sido percibido; habiendo efectuado, por tanto, 30 revoluciones en torno del Sol. Otro segundo cometa, I de 1867, tiene también un período de más de 33 años (33,62 años ó 33 años y medio); en su afelio va más allá de la órbita de Urano, con esta circunstancia, que en su nodo descendente (5.800 días aproximadamente después del paso por el perihelio) se encuentran tan inmediatas ambas órbitas, que la distancia que las separa escasamente llega á 900.000 leguas. En 1817, y sobre todo en 1649, se halló el cometa, al pasar por su nodo, muy cerca de Urano, de lo cual debieron resultar perturbaciones considerables en su movimiento. Por último, hay dos cometas que poco más ó menos tienen un mismo período de 55 años; uno fué descubierto por Vico en 1846 y deberá efectuar su primer regreso en el año 1902. En su afelio se aleja á una distancia casi igual al radio de la órbita de Neptuno, luego se trata también de un cometa interior. El otro cometa de 55 años cuya órbita está asimismo envuelta por la de Neptuno, fué descubierto en Marsella por Coggia el año de 1873 y se sospecha que sea idéntico al cometa observado por Pons en 1818.

El tipo de los cometas de esta clase es el de Halley, y este es el único cuyas veintitrés apariciones se hayan comprobado con exactitud. La primera ocurrió el año 12 de nuestra era, y la última en 1835. Los de Pons y Olbers no han sido vistos más que dos veces cada uno. Cuando se sospecha que un cometa es idéntico á otro anterior, por la semejanza de sus elementos parabólicos, hay posibilidad de que pueda verificarse su regreso; pero lo más frecuente es que reine una gran incertidumbre sobre la longitud del período, aun en el caso de que en la hipótesis de una verdadera identidad se hiciera abstracción de las perturbaciones posibles. Una tercera aparición es, pues, generalmente necesaria para poder afirmar la identidad de los cometas y su periodicidad real. Este tercer elemento es el que ha faltado hasta ahora en los dos cometas que vamos describiendo; pero es evidente que, cuando los elementos elípticos se hayan calculado sobre las observaciones exclusivas de la primera aparición, bastará con una segunda aparición bien comprobada para estar cierto de su periodicidad.

Los siguientes son, en el orden de sus descubrimientos, los nueve cometas de período medio que acabamos de citar.

El primer cometa de período medio es el de 1532, observado por Apiano y por Fracastor y «cuya cabeza, según este último observador, parecía tres veces más gruesa que Júpiter, con una barba de dos brazas de largo.» Según los

cálculos de Olbers, tendría este cometa un período de 129 años y sería idéntico á un cometa que apareció en 1661 y en otras varias fechas memorables. Veamos lo que dice Herschel sobre este asunto: «Aparecieron grandes cometas en 1661, 1532, 1402, 1145, 891 y 243; el de 1402 era tan brillante que podía distinguirse en pleno día. Un período de 129 años conciliaría todas estas apariciones y nos hubiera traído de nuevo el cuerpo en 1789 ó 1790, pero no se ha observado en estas fechas ningún cometa, lo cual no quiere decir que no haya regresado y que no tuviera lugar su paso por el perihelio en el mes de julio, puesto que la posición de su órbita daba motivo para suponer que no pudiera percibirse.» Su próximo regreso debe verificarse de 1918 á 1920.

Un cometa observado desde fines de julio á principios de septiembre de 1683, por el astrónomo inglés Flamsteed, tendría, según el cálculo de los elementos elípticos efectuado por Clausen, un período de 190 años, poco más ó menos. Este cometa, cuyo regreso hubiera debido observarse hacia 1870, no se ha vuelto á ver; pero las perturbaciones que pueden haberle hecho experimentar los grandes planetas, causándole un importante retardo de muchos años, permiten que aún pueda aguardarse su reaparición. En su afelio se aleja más allá de la órbita de Neptuno, así como unos 200 millones de leguas. Sin embargo, el astrónomo inglés Plummer ha discutido nuevamente sus observaciones y presume que el cometa de 1683 describe una órbita parabólica, en cuyo caso deberá eliminarse de la lista de los cometas periódicos.

Vienen luego el cometa descubierto en febrero de 1846 por Vico y Bond; un período de 73 años lo traería nuevamente al perihelio hacia mediados del año 1919; el cometa de Brorsen (julio de 1847), período 75 años, regreso en 1922; el de Westphal (junio de 1852), período de 69 años, regreso en 1921; el de Secchi (cometa I de 1853), cuyo período sería de 188 años y que, según Hind, presenta una gran semejanza con el cometa de 1664; finalmente, el III de 1862, del cual indicaremos sus relaciones con el enjambre de estrellas fugaces del 10 de agosto; este cometa tendría un período de 120 años próximamente, por manera que su regreso inmediato hay que aguardarlo en 1982.

Ninguno de los cometas que vamos á mencionar ahora y cuyos períodos se han calculado aproximadamente, volverá á columbrarse por los astrónomos contemporáneos; uno tan sólo se aguardaba hace poco más ó menos veintiocho años, y si en realidad volvió á su perihelio, no pudo al menos observarse, á pesar de cuantas diligencias se hicieron para percibirlo, y no será visible otra vez hasta dentro de tres siglos.

No tenemos necesidad de advertir al lector de que ahora se trata de cometas cuya periodicidad se halla muy lejos de haberse comprobado en absoluto; en unos se estima la similitud de los elementos de su órbita con los de los cometas anteriores, y para otros se determina la periodicidad por el cálculo directo de los elementos elípticos. Finalmente, aun en el caso en que el cálculo se apoye en bases muy exactas, lo cual ocurre con frecuencia, no hay que olvidar que el regreso próximo que se deduciría de los períodos obtenidos, queda subordinado á los accidentes que pueden sufrir los astros viajeros en su camino, es decir, á las perturbaciones causadas por los planetas conocidos ó ignorados del mundo solar.

En el año 1264 se percibió en Francia desde mediados de julio, después de la postura del Sol, un cometa que Pingré en su *Cometografía* califica de «grande y célebre cometa.» En efecto, fué famoso por más de un título. De una parte, en la época de su aparición se encontraban en toda su plenitud y apogeo las creencias supersticiosas relativas al influjo de estos astros, y se comprende que en nada habían de debilitarse por este suceso, si se recuerda que el cometa de 1264, después de haberse mostrado en Europa durante dos meses y medio, desapareció el 3 de octubre, el mismo día de la muerte del papa Urbano IV. Los testigos oculares que confirman este hecho no dejan de añadir «que sólo apareció para anunciar esta muerte.»

En el siglo último Dunthorne y Pingré calcularon los elementos parabólicos de la órbita de este cometa, que hallaron muy semejante á los del cometa de 1556. «El cometa de 1264, dice Pingré, es con toda probabilidad el mismo de 1556; su revolución periódica es próximamente de doscientos noventa y dos años; en consecuencia es posible aguardar su regreso hacia el año 1848.»

Esta identidad que hasta estos últimos tiempos se ha considerado como indiscutible, haría del cometa en cuestión un astro pavoroso, puesto que después de haber presidido la muerte de un papa, hubiera vuelto para precipitar la abdicación de un famoso emperador, así se le conoce en la historia con el nombre de *cometa de Carlos Quinto*. Veamos lo que dice sobre este punto el autor de la *Cometografía*.

«La aparición de este cometa produjo, según varios historiadores, un efecto particular. Atemorizó al emperador Carlos Quinto, y creyendo este príncipe que su fin estaba próximo, exclamó: *His ergo indiciis me mea fata vocant,*» que Pingré traduce: *En este signo brillante leo mi cercano fin.*

Sea de ello lo que quiera, continúa Pingré, «este terror pánico contribuyó mucho, si hemos de creer á los historiadores que he citado, á que Carlos Quinto formase el propósito de ceder á su hermano Fernando la corona imperial, lo que efectuó á los pocos meses; antes había renunciado la corona de España én favor de su hijo Felipe. Si esta relación es cierta, podemos colocar el hecho en la categoría de los grandes sucesos producidos por causas bien pequeñas.»

¿Será verdadero este relato? Lo que no se puede dudar es que la tradición ó conseja circulaba aún hace pocos años. El historiador Mignet afirma que Carlos Quinto abdicó en 1555 y que, por tanto, no fué por miedo al astro cabelludo por lo que descendió del trono. En Mariana puede leerse que el César abdicó primero en su hermano D. Fernando sus derechos á la corona de Alemania y que el 23 de enero de 1556 cedió á su hijo D. Felipe el gobierno de España y de Flandes.

Pero volvamos á la astronomía y á las razones científicas que han llamado la atención de los sabios sobre el cometa de 1264 y 1556. Acabamos de ver que en el siglo XVIII se predecía el regreso del astro para el año de 1848. Desde 1844 creyó Encke que esta vuelta debería verificarse, y que existía una identidad real entre el III cometa de este último año y el cometa de Carlos Quinto. Hind, por el contrario, calculando los elementos elípticos del cometa III, le asignó un período de $41 \frac{3}{4}$ años. Mas este período no sería incompatible con las tres fechas de 1264, 1556 y 1844; pues el primer intervalo, 1264-1556, daría

siete períodos de $41\frac{3}{4}$ años, y el segundo, 1556-1848, poco más ó menos igual número de revoluciones del cometa. Una aceleración de cuatro años para tan largo tiempo, repartida, por otra parte, en varias revoluciones sucesivas, es perfectamente admisible. Herschel, en su *Astronomía*, se expresa en estos términos al hablar de la presumida identidad de los cometas de 1264 y 1556. «Hind ha hecho sobre este asunto varios cálculos, de los que resulta que es muy probable esta identidad; probabilidad que se acrece, por el hecho de que un cometa muy brillante, con una cola de 40 grados de largo y visible en pleno día, apareció el año 975, y que otros dos cometas se encuentran registrados en los anales de los chinos como observados en 395 y en 104. Si verdaderamente estos diversos astros son idénticos, su período medio equivaldría á unos 292 años. Pero el efecto de las perturbaciones planetarias puede producir aún diferencias más considerables; y si bien en el momento en que escribimos (1858) no se ha observado todavía semejante cometa, pueden transcurrir dos ó tres años, en opinión de jueces competentes, sin que deba considerarse su regreso como imposible.»

Concluamos la historia de este famoso cometa y de los esfuerzos intentados para encontrarlo. Principió Hind por calcular las perturbaciones que había debido experimentar el cometa en 1556 al pasar por las cercanías de la Tierra. Se había aguardado su regreso primeramente para 1848, pero transcurrieron los años de 1849, 1850, 1851 y 1852 sin que se presentase; al fin se obtuvieron algunas noticias del perdido astro en 1853. Bomme, profundo calculador de Middelburgo, resolvió la cuestión con el mayor rigor; inquieto, como todos los astrónomos, con la ausencia del cometa, emprendió de nuevo el cálculo, evaluando las acciones de todos los planetas sobre este astro de 300 años de revolución, mes por mes, semana por semana y día por día, cuando era necesario. Valiéndose Bomme del trabajo preparatorio efectuado por Hind, con una paciencia, más que holandesa, heroica, y sobre todo, con una de esas pasiones frías que se consideran las más enérgicas de todas, calculó, invirtiendo en ello un tesoro de tiempo y trabajo, la marcha completa del cometa.

El resultado dió, como fecha del regreso al perihelio, el mes de agosto de 1858, con una incertidumbre de dos años de más ó de menos. Pero en vano se aguardó; en vano exploraron los telescopios de los investigadores todos los ámbitos del cielo; en vano aparecieron espléndidos cometas en 1858, 1861 y 1862, pues ninguno de ellos era el de Carlos V. No tuvieron Hind y Bomme la dicha que Clairaut, Lalande y madama Hortensia Lepaute alcanzaron en el siglo último. Como los cometas de Lexell y de Vico, hay que considerar perdido el de 1264-1556, y si en realidad las circunstancias han impedido observarlo, á nuestros descendientes del siglo XXII tocará la buena fortuna de presenciar el regreso de este extraviado y famosísimo astro.

Entre los demás cometas de período largo, mencionaremos también el de 1680, tan célebre por la hipótesis de Whiston, que le asignó únicamente una revolución de 575 años, dando de esta suerte á una de sus apariciones la fecha del diluvio. Este gran cataclismo, según Whiston, se debió al choque de la Tierra con el temible cometa, el cual está obligado á hacer perecer á nuestro globo por el fuego, después de haberlo ahogado ya una vez, produciendo así el fin

del mundo. Más adelante volveremos á ocuparnos de estos ensueños. Según los cálculos de Encke, el período del cometa de 1680 es superior á ochenta y ocho siglos. En su afelio se aleja hasta 850 radios de la órbita terrestre, á 31.000 millones de leguas del Sol y la Tierra. «A esta enorme distancia, dice Humboldt, el cometa de 1680, que recorre 98 leguas por segundo en su perihelio, y cuya velocidad es entonces trece veces mayor que la de la Tierra, no se mueve sino á razón de 3 metros apenas por segundo, que viene á ser una velocidad triple de la de nuestros ríos de Europa y la mitad de la que he comprobado en un brazo del Orinoco.» El cometa de 1680 dió á Newton los elementos de su teoría de

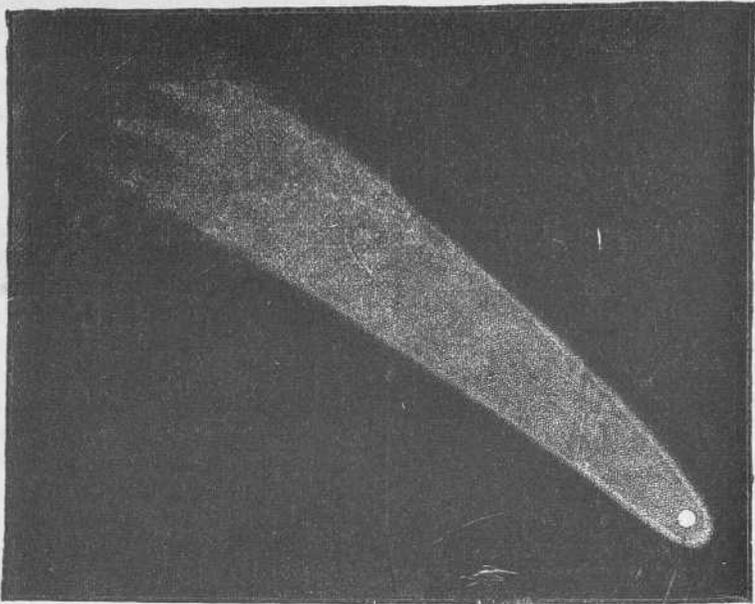


Fig. 8. — Gran cometa de 1811

los movimientos cometarios; es de todos los cometas conocidos, si se exceptúa el que sigue, el que más se aproxima al Sol; su distancia perihelia es, en efecto, 0,0062. El gran cometa de 1843 tiene por distancia perihelia el número 0,0055, que equivale á 204.000 leguas próximamente, medidas desde el centro de la esfera solar; por manera que los núcleos de estos dos astros famosos han pasado, el uno á 60.000 y el otro á 32.000 leguas únicamente de la superficie del Sol, atravesando, por lo tanto, la atmósfera hidrogenada que indica la corona durante los eclipses totales.

El gran cometa de 1769, que se observó en Europa, en la isla de la Reunión y en el mar cerca de Canarias, fué calculado como de órbita elíptica por Eulero, Lexell y Pingré, pero con un período incierto de 450 á 1.230 años. Bessel, después de una discusión profunda y minuciosa, ha fijado en 2.090 años su período probable, pero la incertidumbre es siempre de 500 años á lo menos.

Vemos, pues, cuánta vaguedad hay aún en este elemento de la órbita; existe una incertidumbre para el período del cometa de 1843, el cual, si se supusiera idéntico, como se ha creído, al cometa de 1668, tendría 175 años de revolución en lugar de 376; y también para el cometa de 1793, cuyo período se había calculado primero en 12 años; pero el de 422 años que hemos indicado tomándolo de Arrest, resulta de un estudio más concienzudo. El cometa de Vico (1846), de 2.721, no tiene tampoco un período más seguro; la aproximación es tan sólo de 400 á 500 años de más ó de menos. El cometa de 1840, período de cerca de 14.000 años, no tendría según Loomis más que 2.443 años de revolución. Antes vimos la diferencia del mismo orden que existía en el famoso cometa de 1680; pero las discusiones más recientes de los elementos de todos estos cometas deben inspirar mayor confianza y por esta razón los hemos preferido á los antiguos.

Dos cometas debemos señalar todavía: uno, el gran cometa de 1825 ó *del Toro*, que apareció durante un año casi, desde el 15 de julio de 1825, día de su descubrimiento por Pons, hasta el 5 de julio de 1826, último día en que se columbrió; el otro es el de 1811, gran cometa que también se observó en 1812 y que causó profunda sensación en Europa: en la parte occidental, porque se le atribuyó el excelente vino conocido con el nombre de vino del cometa, y en la parte oriental, porque los rusos lo consideraron como presagio de la terrible y fatal guerra del primer Napoleón contra su patria.

Los cometas de largo período no presentan nada que pueda hacerlos distinguir de los demás, salvo las enormes distancias á que se alejan del Sol cuando están en su afelio. La órbita más corta, supera los límites conocidos del mundo solar, en unas 48 veces la distancia que hay de la tierra al foco central; el cometa de 1845 se aleja, en efecto, hasta dos veces y media la distancia de Neptuno, en una palabra, hasta 2.520 millones de leguas. Hay cometas que efectúan sus revoluciones en 1.840 siglos y 2.800 siglos respectivamente; penetran, en la época del afelio, en regiones del espacio tan distantes, que para venir hasta la Tierra la luz de estos astros emplearía 171 y 230 días.

CAPITULO III

LOS SISTEMAS COMETARIOS

Número de cometas. - Agrupaciones cometarias. - Aspecto de los cometas. - Formas diversas y dimensiones de las colas cometarias. - Brillo de los cometas. - Transformaciones físicas de los cometas. - Masa y densidad de los cometas. - La luz de los cometas.

«Los cometas son tan numerosos en el cielo, ha dicho Keplero, como los peces en el Océano, *ut pisces in Oceano.*»

Como todos los que se han ocupado de este asunto del número de los cometas, citamos esta comparación del grande astrónomo; pero debemos de hacer notar que la expresión empleada por Keplero responde á una opinión hipotética y que no debe tomarse en el sentido literal de la frase. Pero dejando á un lado la parte exagerada que haya en el asunto, vamos á ver que Keplero tenía razón en considerar el número de los cometas como inmensamente grande.

No podemos hacer aquí mención sino de los cometas susceptibles de atravesar temporalmente el sistema solar y de circular en él indefinidamente como partes integrantes del sistema. Toda evaluación que tenga por objeto el estudio de los cometas situados fuera de esta esfera, fuera de nuestra zona de visibilidad, ó de la de los planetas que forman parte de nuestro grupo, estará basada en elementos sin solidez. Es necesario restringir nuestros cálculos y nuestras conjeturas al dominio de lo que es susceptible de comprobación, de lo que rigurosamente puede considerarse como observable; en otro caso, nos perdemos en lo infinito.

Primero hablaremos tan sólo de los cometas observados, ó cuando menos, de aquellos que registra la historia ó la tradición. Veamos lo que se sabía en este punto á fines del siglo último. Dice Lalande: «Riccioli, en su enumeración de los cometas, cuenta sólo 154 citados por los historiadores hasta el año 1651 en que componía su *Almagesto*, siendo el último el de 1618. Pero en la gran obra de Lubienietzky, en que los menores pasajes de los autores se hallan escrupulosamente registrados, siempre que presentan alguna relación con los cometas, por pequeña que sea, se cuentan 415 apariciones hasta el cometa de 1665, que brilló desde el 6 hasta el 20 de abril. Después de esta época se han observado 46 más, contando los que han aparecido en el año 1781.» En junto sumamos, en esta última fecha, 461 cometas.

Este número se ha aumentado luego de un modo considerable con la aparición de nuevos cometas primero, y también con las investigaciones de los eruditos, principalmente en los anales de los chinos, investigaciones que han demostrado varias apariciones antiguas de cometas olvidados ó no observados en Europa. Así llegamos á obtener más de ochocientos cometas.

Pero no hay que olvidar, al interpretar este número, que hasta el siglo XVI

todos los cometas se observaron á la simple vista, mientras que después de la invención de los anteojos se ha hallado un gran número con auxilio de estos instrumentos, y más recientemente con la fotografía. Así, pues, hasta el año 1600 próximamente, tan sólo se registran los cometas más brillantes; pero después de esta época se ha podido comprobar que los cometas telescópicos, demasiado débiles ó demasiado distantes de la Tierra, para ser visibles á la simple vista, son muchísimo más numerosos. De 31 cometas observados en el siglo XVI, 8 eran telescópicos; en el siglo XVII se elevó este número á 18, de 25 que fueron los cometas observados; en el siglo XVIII llegan á 61, y en el XIX casi todos han sido descubiertos con los grandes telescopios, cada vez más poderosos, y con auxilio de la fotografía, no pasando de 21 los visibles á la simple vista.

Sin embargo, no reside exclusivamente en el número de cometas descubiertos el progreso realizado por los astrónomos de nuestro siglo y de los transcurridos últimamente, sino de un modo principalísimo, en la determinación de las órbitas, la exactitud de las observaciones y el estudio físico de estos astros. Así que hay que distinguir en los siglos anteriores á Newton el número de los cometas observados ó vistos sencillamente, del número de cometas catalogados; éstos son poco numerosos antes del siglo XVI porque los antiguos autores sólo han dejado notas medianamente exactas sobre la posición y marcha de los cometas, y los documentos que han permitido calcular más tarde las órbitas se han extractado, sobre todo, de las crónicas de los chinos. Por el contrario, desde hace tres siglos y medio, casi todos los cometas observados se encuentran catalogados al mismo tiempo, y en nuestro siglo absolutamente todos. Salvo el caso excepcional en que la aparición de un cometa sea tan corta que no permita efectuar tres observaciones suficientemente separadas, puede decirse que un cometa visto y observado hoy día es al mismo tiempo y con toda rapidez un cometa calculado. Pero volviendo al número de los cometas catalogados, diremos que se elevan hoy día á 383, si bien es cierto que hay que reducirlos á 267 si sólo queremos considerar los cometas distintos. En cuanto al número probable de los cometas que desde los tiempos históricos verifican su aparición en el mundo solar, es evidentemente mucho más considerable que el citado, aun en el caso de no apreciar más que aquellos que han atravesado nuestro sistema en condiciones favorables á su visibilidad para un observador situado en la superficie de la Tierra.

Clasificando por meses los cometas según las fechas de sus pasos por el perihelio, es decir, en el punto de sus órbitas en que se hacen visibles principalmente, encontró Arago que, de 226 cometas, hay 130 para los meses de invierno y 96 solamente para los meses estivales. De 301 apariciones de cometas catalogados, hallamos 165 que han pasado por el perihelio, de septiembre á marzo. La proporción, que ha disminuído ligeramente, es siempre de 54 á 55 por 100. Ahora bien, una diferencia semejante no puede provenir más que de una causa, por otra parte bien natural. Y es que las noches de las estaciones invernales son más largas, y por lo tanto favorables á una observación prolongada de una porción del cielo mucho más grande, al paso que las noches de la estación de verano, mucho más cortas, disminuídas también por la excesiva duración de los crepúsculos, deben dejar escapar un número mayor de cometas. La diferencia es de $\frac{1}{7}$, por manera que puede agregarse esta fracción al número prece-

dente para calcular los cometas que se sustraen á la observación; de este modo se hallarían 4.228 cometas.

A esta razón del aumento de los cometas pudiera agregarse el hecho de que los buscadores y observadores son más numerosos en el hemisferio boreal que en el austral de la Tierra, y que, por lo tanto, deben substraerse á la observación cierto número de cometas cuyas órbitas se hallan de tal manera inclinadas, que sólo son visibles en la vecindad de su perihelio desde el hemisferio austral. Pero es claro que ya tuvimos cuenta en parte de esta circunstancia, igualando el número de los cometas que pasan por el perihelio en las estaciones estivales con el de los cometas de las estaciones de invierno. En efecto, las partes del cielo que no pueden explorarse á causa de la escasa duración de las noches en el hemisferio boreal de la Tierra, son visibles precisamente en iguales épocas en el hemisferio austral; y si fuese el mismo el número de los observadores en ambos hemisferios, claro está que no habría que hacer corrección alguna.

De otro lado, es necesario que todos los cometas que llegan á la vista de la Tierra sean en efecto observados; es necesario que los astrónomos dedicados al penoso trabajo de buscar astros nuevos, puedan explorar á la vez todas las regiones del cielo; no ocurre lo mismo con los cometas telescópicos que con los planetas de igual denominación; estos últimos vienen siempre en un momento de su revolución á cortar la eclíptica sin dejar de ser visibles, y basta á los investigadores explorar el cielo en una región limitada á ambos lados de la órbita terrestre; pero los cometas se presentan y desaparecen en todas partes, por lo que debe escapar un gran número á la investigación de los astrónomos.

Del propio modo, el estado atmosférico en ocasiones no es favorable, y si se trata de uno de esos cometas que pasan á corta distancia de nuestro globo, y que por lo tanto sólo son visibles algunas semanas á causa de la rapidez de su movimiento propio, y aun tal vez algunos días, puede muy bien la turbación atmosférica impedir la observación de un período tan escaso. Otro de los obstáculos es el brillo de la Luna, que muy bien puede reducir á la nada el tenue resplandor del cometa. El siguiente pasaje de las *Cuestiones naturales*, de Séneca, prueba que los antiguos pensaban ya que los cometas eran más numerosos de lo que indicaban sus apariciones. «Muchos cometas, dice, son invisibles porque los rayos del Sol los obscurecen. Posidonio menciona que en una eclipse de este astro se vió aparecer un cometa oculto hasta entonces á causa de su vecindad.»

De modo que tenemos que contar los cometas por millares, á lo menos los que han venido á efectuar sus pasos en un período de 2.000 años, esto es, en un minuto de la vida probable del mundo solar. Pero nuestro cálculo sólo es aplicable á los cometas cuyas órbitas son de tal naturaleza, que se aproximan á la Tierra á una pequeña distancia para hacerse visibles. Queda por evaluar el número probable de los que deben atravesar nuestro sistema á todas las distancias posibles, y entonces llegaremos á números tan enormes, que justificarán la expresión de Keplero.

No puede desconocerse que se trata aquí de un asunto completamente indeterminado y cuya solución, tan sólo aproximada, únicamente puede dar un límite inferior del número que se busca. Admitiendo como un hecho probable que sea igual la distribución de los cometas en el espacio, se ve en seguida que el

resultado del cálculo depende exclusivamente del punto de partida, por ejemplo, del número de los cometas que han venido á pasar entre el Sol y Mercurio. Y este número es evidentemente inferior al de los cometas que desde los tiempos históricos han penetrado en realidad en esta región. Si se hubieran observado y buscado desde hace 2.000 años como se observan y se buscan de dos siglos á esta parte, ¿cuál no sería la cifra de cometas que hubiéramos alcanzado en un catálogo completo? Y en cada siglo se aumentaría este número, abstracción hecha de las reparaciones, y la evaluación crecería en una proporción análoga.

Cuando se trata de formarse una idea, por los datos actuales de la ciencia, de la constitución del universo visible, se observa que en este conjunto se encuentran los cuerpos celestes distribuidos por grupos ó asociaciones cuyo lazo común es la gravitación universal.

Hay, como sabemos, sistemas planetarios; en el foco de estos grupos existe una estrella, un Sol central, cuya prepotente masa retiene alrededor suyo, circulando en órbitas regulares, otros astros ó planetas á los que este Sol distribuye el calor y la luz; algunos de estos planetas con sus satélites forman grupos ó sistemas de segundo orden. Nuestro sistema planetario es el tipo de las asociaciones astrales de este género.

Como veremos más adelante, hay también *sistemas estelares* ó grupos de dos, tres ó más soles gravitando unos en torno de otros, y probablemente según unas mismas leyes; estos sistemas son en sí elementos de agrupaciones más vastas, que, como las nébulas resolubles conocidas con el nombre de *cúmulos estelares*, se componen de millones de soles; nuestra *Vía láctea* es uno de los ejemplares más hermosos que es posible imaginar de estos inmensos conglomerados.

Las mismas nébulas parece que se agrupan en sistemas, en diversas regiones del cielo, por manera que el plan general del universo se resume en una síntesis grandiosa de asociaciones de distintos órdenes, enlazándose de unas en otras hasta llegar al infinito, sin que ninguno de los individuos ó astros particulares de que están formadas se exima de la regla que los obliga á pertenecer á cualquiera de los grupos.

¿Hay motivos para creer que asimismo puedan existir *sistemas de cometas*?

Es, ante todo, indudable que se cuentan algunos cometas que pertenecen á nuestro sistema planetario. Extraños á él en su origen, llegaron á reunirse por efecto de las atracciones perturbadoras de las masas planetarias, y desde aquel momento formaron parte integrante del grupo. Vimos cuán posible era que los cometas, por opuestas perturbaciones, huyeran algún día del lazo de la atracción solar, y que otros, por el contrario, no pudiendo resistir, en razón de la debilidad de sus masas, á las causas que tienden á precipitarlos en el foco de sus movimientos, llegaran á reunirse algún día confundándose con la masa central; ó bien que, desprendidos y diseminados en los espacios interplanetarios por las sucesivas perturbaciones de las masas de los planetas, constituyeran una especie de medio resistente cuyos elementos aumentarán con el tiempo la masa de estos últimos astros.

Por otro lado nos encontramos afortunadamente en disposición de poder contestar á la pregunta propuesta, toda vez que hemos visto desdoblarse el cometa de Biela, y hoy día se puede decir que los dos astros gemelos, al viajar

reunidos, presentan como un embrión del sistema cometario. El cometa observado en 1860 por Liais ofrece un ejemplo de otra clase, puesto que si los dos cometas que lo constituyen se alejan del Sol guardando sus respectivas distancias y se apartan del sistema, constituirán en el espacio un grupo de dos cometas independientes.

Pero todos los demás cometas, es decir, los cometas no periódicos, los que describen parábolas é hipérbolas, ¿son simplemente viajeros aislados que cruzan de uno á otro sistema solar sin fijarse jamás en ningún mundo? ¿No hay ninguno entre ellos que en unión de otro compañero naveguen convoyándose por el insondable piélagos?

Presentada de esta suerte la pregunta, parece que es susceptible de una solución directa, como lo atestiguan las investigaciones efectuadas en este sentido por un astrónomo holandés contemporáneo, el señor Hoek. Estudiando y comparando este sabio los elementos de diversos cometas, llegó á reconocer que cierto número de ellos parecían presentar un origen común, y que formaban, antes de penetrar en la esfera de atracción del Sol, grupos ó sistemas; lo que, según el autor, demuestra que por encontrarse estos astros en otro tiempo á una pequeña distancia unos de otros, tenían un movimiento inicial en un mismo sentido é igual velocidad. También, en su juicio, forman la excepción los cometas periódicos ó de órbitas elípticas, y la inmensa mayoría de estos misteriosos cuerpos se mueve en curvas de ramas infinitas. Llegan á nosotros aislados ó en grupos, de las profundidades sidéreas, enviados á nuestro sistema por alguna estrella, de la cual pudieron alejarse lo bastante como para llegar á substraerse á la preponderancia de su atracción, cayendo temporalmente bajo el influjo de la atracción de nuestro propio Sol. Pero ¿qué carácter ha permitido á Hoek reconocer que ciertos cometas emanan del mismo foco y pueden considerarse probablemente como de un origen común? Para resolver esta cuestión difícil ha comparado el astrónomo holandés los elementos de los cometas determinados con suficiente exactitud, por ejemplo, los cometas catalogados desde 1556. Determinó la posición de sus afelios reuniendo primero entre sí los cometas cuyas apariciones no se hallaban separadas por intervalos superiores de diez años, y cuyos afelios no medían en el cielo una distancia angular ó aparente de más de 10 grados. Investigó también si las órbitas de los cometas de esta suerte agrupados de tres en tres ó en mayor número, no presentaban puntos comunes de intersección.

Presentemos un primer ejemplo extractado de los trabajos de Hoek; consideremos los cometas de 1672, 1677 y 1683, y luego los III de 1860, I de 1863 y IV de 1863. He aquí las posiciones de los afelios de estos seis cometas:

	Longitudes	Latitudes
1672.	279°.4	69°.4
1677	286 .4	75 .7
1683	290 .8	83 .0
III 1860	303 .1	73 .2
I 1863.	813 .2	73 .9
IV 863.	313 .9	76 .4

Las diferencias de longitud medidas sobre un arco de círculo máximo equivalen, para cada grupo, á unos 3 grados próximamente, luego existe una coincidencia en extremo notable. Pero si se buscan los puntos de intersección de las órbitas se obtiene una coincidencia más extraordinaria aún, pues se encuentra que estos puntos están agrupados en una región del cielo cuya área no pasa de 2 grados, hacia los 319° de longitud y 78° de latitud austral. Uniendo el Sol por medio de una recta á la estrella *gamma* de la Hidra, tenemos la intersección común de las cinco órbitas; es por lo tanto muy de suponer que estos cinco astros emanen de un mismo y único foco cometario.

De los cálculos resulta que cuanto más atrás nos remontamos en lo pasado, más se aproximan en realidad unos á otros los respectivos cometas de 1677 y 1683 de una parte, y de otra los tres cometas III 1860, I y IV de 1863. Hoek, sin decidirse por ninguna de las dos, ha indicado las hipótesis de que cada cometa haya principiado individualmente su viaje, y de que la época de su excursión haya sido la misma para todos; sin embargo, el sabio holandés demuestra que bastaría, por ejemplo, admitir entre las velocidades originales de los cometas de 1677 y de 1680 una diferencia tan pequeña como 66 centímetros por segundo para que á su llegada respectiva á nuestro sistema se hubiera producido un retardo de 200 años en el movimiento del que caminara con mayor lentitud. Por lo tanto, no es imposible que los dos cometas de 1677 y de 1680 hayan abandonado á la vez el foco común de donde emanan.

Hemos de citar también, copiando de Hoek, los cometas III y V de 1857 y III de 1869. Estos tres astros han recorrido, en efecto, órbitas cuyos elementos casi semejantes, unidos al corto intervalo que separa sus apariciones, indican probablemente un origen común; al principio sólo indicó, como formando sistema, los dos primeros cometas; pero la comparación del tercero con los otros dos, hizo que también lo incluyera. «En las investigaciones sobre los sistemas cometarios, dice, he indicado los dos cometas III y V de 1857 como pertenecientes, según todas las probabilidades, á un sistema; no he vacilado en atribuirles este carácter al considerar la extremada semejanza de todos sus elementos y el corto intervalo entre sus apariciones. Y en este estado viene repentinamente el cometa nuevo (III de 1867) á confirmar de un modo imprevisto nuestras ideas, á saber: los círculos que representan los planos de las tres órbitas se cortan en un mismo punto del cielo; estos planos se cortan, pues, mutuamente según una línea común de intersección, la cual tiene que ser necesariamente paralela á la dirección del movimiento inicial, común á los tres astros, en el momento en que entraron en la esfera de atracción del Sol.»

El punto radiante de las órbitas, aquel en que vienen á cortarse sus planos, está situado en el hemisferio austral hacia los confines de la constelación de la Dorada. Y no es este el único sistema cometario. En primer lugar, los tres cometas citados más arriba no serían los exclusivos del grupo y tendríamos que agregar los cometas de los años siguientes: 1596, I de 1781, III de 1790, I de 1825, II de 1843 y III de 1863; y también estos otros, II de 1785, II de 1818 y III de 1845.

¿Cuál es el carácter específico de un cometa, lo que hace que se distinga inmediatamente un astro de esta clase de una estrella cualquiera? Sin duda el ras-

tro de vapor luminoso, la nebulosidad más ó menos prolongada que acompaña á la estrella ó que parece envolverla; en una palabra, la *cola* y la *cabellera*.

Esto es lo que indica la etimología, pues la palabra *cometa* significa, como todos saben, *estrella cabelluda*. Armado con su cola, que parece blandir en el cielo como amenazadora espada ó como antorcha precursora de sucesos terribles, el cometa se reconoce al instante por todo el mundo y no tiene necesidad de que los astrónomos le expidan su fatídica patente. Pero si le falta la cola, si ningún apéndice ó envoltura gaseosa le acompaña en su aparición, la multitud, y el público en general, no verán en este astro un cometa y para todos pasará como una estrella que en nada se distingue de las demás que tachonan el azulado firmamento.

Sin embargo, hay cometas sin cola. El cometa de 1585 igualaba á Júpiter en magnitud, pero tenía menos brillo, su luz era como empañada y podía compararse á la nébula del Cangrejo. No presentaba ni barba ni cola. Lalande cita los cometas II de 1665 y el de 1682 como de disco tan redondo, detallado y claro como el de Júpiter, sin *cola*, ni *barba*, ni *cabellera*. Aquí nos referimos á los cometas observados á la simple vista; entre los cometas telescópicos se cuentan muchos desprovistos de cola, que á veces parecen simples nebulosidades en las que apenas se ve un debilísimo núcleo ó una sencilla condensación luminosa. Por otra parte, la presencia ó la falta de cola, cierta en un momento de la aparición, puede no serlo en una época diferente; así el cometa de 1682 citado más arriba (el de Halley) al que Cassini no le vió cola el 26 de agosto, mostró una de 30° el día 29 del mismo mes. Otro tanto puede decirse del cometa de 1585; doce días después de su aparición, «se veía un rayo muy delgado y difícil de columbrar, de la longitud de un palmo á lo más.» Y también es con frecuencia invisible esta cola á la simple vista, y se distingue cómodamente con el telescopio, como demostraremos más adelante con varios ejemplos. Lo único que debemos de tener presente en este punto es que el signo astronómico distintivo de un cometa no reside ni en la cola, ni en la cabellera, ni en ninguno de los apéndices que á veces rodean al astro cuando aparece; lo que diferencia á un cometa de un planeta son los elementos de la órbita, su gran excentricidad, su inclinación considerable y el sentido de su movimiento, retrógrado las más de las veces. En varias ocasiones hemos insistido ya sobre estos caracteres, y es por lo tanto inútil que nos detengamos más sobre este punto.

Hasta el siglo xvi, hasta que se introdujo el uso de los anteojos en las observaciones astronómicas, claro está que sólo se trata, en las relaciones de las apariciones cometarias, de los cometas visibles á la simple vista; y la forma insólita de las colas, de las barbas y cabelleras es lo que más llamaba la atención de los sabios y del vulgo; por esta razón los antiguos, que no siempre distinguieron con precisión los cometas de otros diversos meteoros luminosos, como los bólidos y las auroras boreales, clasificaron con preferencia estos astros según sus aspectos, y así Plinio llegó á contar hasta doce especies, cuya descripción, aunque confusa, es como sigue:

«Se ven cometas propiamente dichos: atemorizan por su melena de color de sangre; su erizada cabellera se dirige hacia lo alto del cielo. Los barbatos (Pogoniae) dejan que caiga abajo su cabellera en forma de barba majestuosa.» (Estas

dos especies primeras pueden clasificarse en una sola, puesto que únicamente difieren por la dirección de la cola.) «El venablo (Acontias) parece que se lanza como una saeta; así su efecto es más rápido y sigue inmediatamente á la aparición; si la cola es más corta y termina en punta, se le llama espada (Xiphias); este es el cometa más pálido y tiene un resplandor como el de la espada, sin ningún rayo. El disco (Disceus) lleva su nombre conforme con su figura; su color es de ámbar, y de sus bordes nacen algunos rayos, aunque escasos. El barril (Pitheus) tiene realmente la figura de un tonel que se imaginara sumergido en una humareda luminosa. El corniforme (Cerathias) imita la figura de un cuerno, y la lámpara (Lampadias) la de un hacha ardiente. La Caballuna (Hippeus) representa las crines de un caballo que se agitaran violentamente por un movimiento circular, ó mejor, cilíndrico. Tal cometa parece también de singular blancura, con una cabellera de color argentino, y tan brillante que apenas es posible mirarlo; allí se ve la imagen de Dios bajo una forma humana. Hay cometas erizados (*hirti*) que se asemejan á las pieles de las bestias guarnecidas con sus pelos, y se encuentran rodeados de una nebulosidad. En fin, se ha visto que la cabellera de una cometa tomó la forma de una lanza.»

Todas estas denominaciones se hallan más ó menos justificadas por la variedad de aspecto que presentan los cometas, sus nebulosidades y sus colas; pero no nos enseñan nada absolutamente sobre su naturaleza física. Ni tampoco parece completa, por otra parte, la enumeración, si hemos de considerar como cometas las antorchas y las vigas (*faces et trabes*), cuya descripción presenta aparte Plinio.

Felizmente para la ciencia, han anotado los chinos con el mayor esmero todas las apariciones de cometas, dando á las colas el poco poético nombre de *escobas* (sui ó soui). Según Biot y Julián, los cometas se llaman en chino estrellas-escobas, nombre derivado de la forma de la cola, y los textos no diferencian, por lo común, el núcleo. Las constelaciones que indican son, generalmente, las que el cometa ha cubierto con su apéndice; por eso el texto que describe el cometa de 1301 dice: «Barrió la estrella Thien-ki, los Soukoun», etc. Para los chinos tampoco hay cometas sin cola. Dice Pingré: «Cuando no presentaban cola, fuera el que fuese su movimiento, sólo se les daba el nombre de *estrella ó estrella nueva*, y también de *estrella huésped*, que visitaba las provincias y se alojaba en distintos parajes como en otras tantas posadas. Permanecían en los vestíbulos de los palacios celestes; allí, bajo forma invisible, aguardaban la orden de marchar, expedida la cual se hacían visibles y se ponían en camino. Si en su curso adquirían una cola, se decía que la estrella se había convertido en cometa.»

Para la mejor inteligencia de este pasaje vamos á transcribir, según el mismo autor, el lugar en que explica «la idea disparatada y singular que los chinos se habían formado del cielo. El cielo, según ellos, era una vasta república, un gran imperio, compuesto de reinos y de provincias; estas provincias eran las constelaciones; allí se decidía soberanamente todo cuanto debía ocurrir, favorable ó adverso, al gran imperio terrestre, al imperio chino. Los planetas eran los administradores ó intendentes de la celeste república; las estrellas, los ministros; los cometas, los correos ó mensajeros; estos últimos eran enviados de vez en cuando por los planetas para visitar las provincias y para restablecer y conservar el orden

y la administración; pero todo lo que pasaba allá arriba era la causa precursora de lo que había de ocurrir aquí abajo.»

Convengamos en que las ideas de los chinos no eran más necias ni más extravagantes que los ensueños caprichosos de los europeos durante la antigüedad y la Edad media; en todo caso sirven para atestiguar que los chinos tenían opiniones algo más elevadas en cuanto al orden general, y convengamos también en que no sería preciso buscar muy atrás para hallar, quizás entre nuestros contemporáneos, algunas personas que sobre el gobierno del universo tienen formado un juicio poco distinto del de los chinos.

Pero volviendo á las definiciones aceptadas por los astrónomos modernos, diremos que en un cometa hay que distinguir siempre *la cabeza y la cola*.

La cabeza se compone de la estrella, es decir, del *núcleo* ó punto nebuloso, donde se halla condensada la luz más fuerte del astro; luego, de la nebulosidad que la rodea, que es la *cabellera* ó *atmósfera*; no todos los cometas tienen núcleo, pero en este caso los que sólo presentan una nebulosidad de aspecto vaporoso son, por lo común, cometas telescópicos; la cabeza de los cometas visibles á la simple vista brilla siempre como una estrella.

Cuando la nebulosidad ofrece en la apariencia una forma circular, ovalada y también irregular, lo cual puede depender de su figura real y de un efecto de perspectiva, sin ninguna prolongación ni rastro, se dice que el cometa no tiene *cola*, porque esta denominación se reserva para el rastro luminoso, corto á veces, á veces también de longitud extraordinaria, que arranca de la cabeza en una dirección, por lo común, opuesta á la que el Sol ocupa en el momento de la observación. Ocurre, asimismo, que la dirección de este rastro es la misma que la del Sol, ó forma determinado ángulo con la línea que une la cabeza al propio astro; esto es lo que los antiguos astrónomos llamaban las barbas del cometa, expresión que hoy día no se emplea. Para los modernos, todo apéndice luminoso, todo rastro de apariencia vaporosa, se considera siempre como cola, habiendo desaparecido las anticuadas denominaciones de cometas caudatos, barbatos y crinitos.

Digamos ahora algunas generalidades sobre las cabezas y las colas de los cometas, pues más adelante haremos un estudio más detallado y detenido de su estructura.

Desde que la investigación de los cometas se efectúa de una manera regular, empleándose instrumentos poderosos, el número de estos cuerpos desprovistos de núcleo ha aumentado considerablemente. Este fenómeno fué notado por Herschel en 1807: «De los 16 cometas que he examinado, 14 no presentaban nada de particular en el centro.»

Veamos algunos ejemplos de cometas reducidos á simples nebulosidades, sin apariencia de cola ni de núcleo. El primero es el cometa de Encke, tal como lo observó el astrónomo Tebutt el 24 de junio de 1865. «Tenía, dice, unos 2' de diámetro, era débil y sin la menor condensación de luz en el centro.» En octubre de 1871 presentaba el mismo cometa, según Hind, al principio de las observaciones, el aspecto de una nebulosidad débil, casi redonda, sin condensación aparente en ninguna de sus partes. El 9 de noviembre, el mismo cometa tenía un aspecto completamente distinto de la forma globular. Según Carpenter, la nebulosidad se abría como un abanico cuyo vértice era el punto más brillante,

pero no se veía ningún núcleo bien caracterizado. Un aspecto análogo tenía el cometa que descubrió Winnecke el 12 de julio de 1870; presentaba una nebulosidad redonda bastante luminosa de $2' \frac{1}{2}$ de diámetro.

El cometa de Brorsen, observado por Stephan en Marsella el 1.º de septiembre de 1873, presentaba el comienzo de un núcleo brillante, que describe así este astrónomo: «Nebulosidad ovoidea, de debilidad excesiva, con vestigios de condensación hacia la parte central.» Lo mismo ocurrió con el cometa de Winnecke visto en abril y mayo de 1869. «Es una débil mancha nebulosa, dice Wortham, que en ocasiones parece brillar algo en el centro.» Según Perry, existe una ligera condensación hacia la parte central, pero sin núcleo marcado. Por otra parte, no debemos olvidar que la falta de núcleo puede ocasionarla, bien la distancia del cometa, que hace invisible una condensación tan débil, ya la posición del cometa respecto del Sol; si el núcleo no brilla con luz propia, su resplandor debe ser más vivo cuanto más cerca se encuentre el cometa de su perihelio; ve-

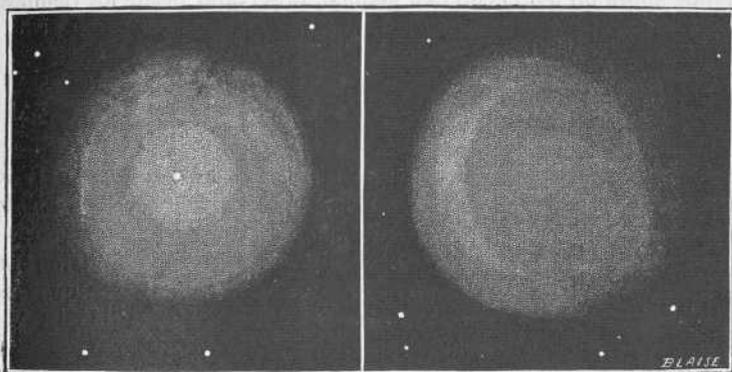


Fig. 9. — Nebulosidades cometarias; cometas sin cola ni núcleo. Condensación central

mos, en efecto, el cometa de Encke con una condensación perceptible, que en 1871 se transformó en un núcleo brillante y detallado. Del propio modo, el cometa de Brorsen, observado en 1873, presentaba una condensación considerable hacia el centro. En su aparición de 1868, era excéntrica la parte más brillante, en la que se distinguían tres ó cuatro centros de condensación ó núcleos brillantes.

El cometa II de 1867, observado por Huggins en el telescopio, mostraba «una nebulosidad ovalada, rodeando un núcleo pequeño y poco brillante, que no se encontraba en el centro, sino próximo al borde oriental de la cabellera.» Pronto veremos en el cometa doble de Biela un núcleo luminoso bien detallado en el centro de las nebulosidades que componen cada fragmento; otros cometas telescópicos se encuentran en el mismo caso. En mayo de 1873 tenía el cometa de Tempel una cabeza oblonga con núcleo central, que brillaba como una estrella de 12.^a ó 13.^a magnitud. El cometa de Faye visto en Marsella en el mes de septiembre del propio año, aunque excesivamente débil, tenía un pequeño núcleo bien definido que hacía fácil la observación; el cometa IV de 1873,

descubierto por P. Henry en el Observatorio de París, era redondo, muy brillante, casi visible á la simple vista y con condensación central, y este hecho se repite en muchos de los cometas descubiertos recientemente.

Hemos hablado de cometas cuyo núcleo brillaba tanto como el disco de Júpiter; los hay también de luz más resplandeciente todavía; vemos, pues, que es posible pasar por grados insensibles desde las rudimentarias nebulosidades, desprovistas de condensación luminosa, á los cometas cuyas cabezas superan en brillo á las más resplandecientes estrellas. Hallaremos también una gradación semejante respecto á las colas; desde los cometas que apenas muestran algún indicio, observados con el telescopio, hasta los gigantescos rastros luminosos de los grandes cometas de 1680, 1769, 1811, 1843, 1858, etc. Estos diversos aspectos pueden apreciarse inspeccionando los numerosos grabados de esta parte de nuestro trabajo.

Tenemos que insistir, al hablar de la dirección de las colas, sobre un punto importante, sobre un fenómeno casi general, observado desde los tiempos antiguos. Dice Séneca:

Coma radios solis effugiunt

(las cabelleras de los cometas huyen de los rayos del Sol)

Según E. Biot, los astrónomos chinos habían observado, desde el año 837, esta dirección constante de las colas hacia la parte opuesta al Sol. En Europa, Apiano fué el primero que se fijó, según refiere Lalande, en que las colas de los cometas se hallaban siempre opuestas al Sol; esta regla la confirmaron entonces Frisio, Fracastor y Cardano; sin embargo, Tycho Brahe no creía que fuese general, ni que estuviese bien demostrada, pero hoy día no existe en este punto duda alguna.

Pingré hace observar fundadamente, que esta dirección de la cola en sentido opuesto al Sol no es siempre clara y terminante; cita el cometa de 1577, cuya cola se desviaba 21° hacia el Sur; el gran cometa de 1680 en el que la desviación alcanzó $4^{\circ} \frac{1}{2}$; en estos dos casos, no obstante, el cometa y la Tierra ocupaban en el cielo las mismas posiciones relativas. La desviación es, por otra parte, mucho más débil según que la cola del cometa se encuentra más inclinada sobre la órbita; considerada en el nacimiento de la cola, es tanto menor cuanto más cerca está el astro de su perihelio; por último, se forma siempre al lado de la órbita que abandona el cometa.

De la ley que acabamos de mencionar resulta que la cola de un cometa unas veces sigue y otras precede al astro en su movimiento; lo sigue antes de su paso por el perihelio, y por el contrario, lo precede cuando el paso ha tenido lugar. Además, con la mayor frecuencia tienen las colas una curvatura más ó menos considerable, la cual parece tanto más pronunciada cuanto mayor es la inclinación de la Tierra respecto de su órbita; si la Tierra está situada en el plano mismo de esta órbita, la curvatura es nula al parecer, y la cola es rectilínea, ó al menos así se presenta, lo cual se debe á un efecto de perspectiva, puesto que en este caso la curvatura tiene lugar en el plano de la órbita. Hay un ejemplo que presentar, que en la apariencia se opone á esta ley; nos referimos á las dos colas

del gran cometa de 1861. El 30 de junio, día en que la Tierra pasaba por el plano mismo de la órbita del cometa, ambas colas, proyectadas una sobre otra, parecían formar un solo apéndice, más ancho en el primer tercio de la longitud á partir del núcleo, pero ambos rectilíneos.

Y volviendo de esta digresión diremos que la curvatura es mucho más pronunciada, si se consideran las porciones de la cola más lejanas del núcleo; de donde resulta que, si se trazan radios vectores desde el Sol á las diversas posiciones del cometa, presentará siempre la cola su parte convexa á estas líneas, como se observa en la figura 10.

Aún podemos deducir otra consecuencia de estos hechos; si la Tierra ocupa una posición particular respecto del cometa y el Sol, y el cometa se halla en oposición con este último, su cola se encontrará también opuesta al Sol, y situada detrás del núcleo, de modo que es invisible. Sólo es dado verla en el sentido de su ancho, y entonces parece que rodea el núcleo en forma de cabellera,

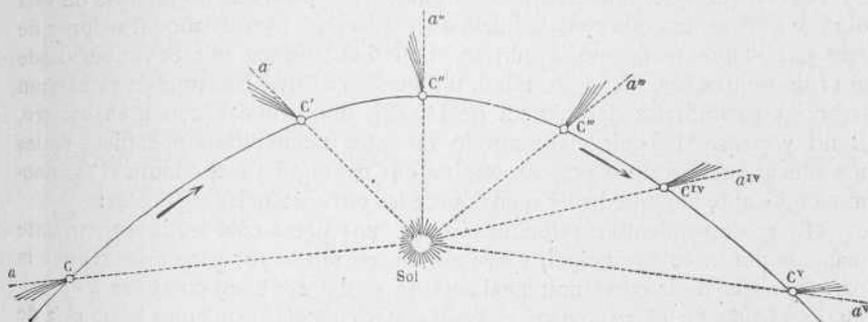


Fig. 10 - Dirección general de las colas cometarias

dando á la atmósfera cometaria una extensión aparente más considerable. De esta suerte puede explicarse la carencia de cola, comprobada en cierto número de cometas, por otra parte, muy próximos á la Tierra.

Por lo general, la cola de los cometas es única; varía mucho en sus formas y dimensiones aparentes y reales; para un mismo astro cambia á veces con gran rapidez, pero está formada por un solo rastro luminoso; sin embargo, pueden citarse varios ejemplos de colas dobles y múltiples. Los cometas de 1807 y 1843 tenían cola doble, ó lo que es lo mismo, una cola formada por dos brazos ó ramas, de largo desigual. Lo mismo pasó con el cometa de 1823, del cual da Arago los detalles siguientes:

«El 23 de enero de 1824 tenía el cometa, además de su cola ordinaria opuesta al Sol, otra dirigida hacia este astro, lo que le daba cierta semejanza con la gran nébula de Andrómeda. La primera cola parecía abarcar un espacio de 5° próximamente; la longitud de la segunda no pasaba de 4° ; sus ejes formaban entre sí un ángulo muy obtuso que poco difería de 180° ; cerca del cometa apenas se columbraba la cola extraordinaria; el máximo de esplendor se hallaba á 2° del núcleo. En los primeros días de febrero no se distinguía más que la cola opuesta al Sol, y la otra había desaparecido, ó por lo menos estaba tan debili-

tada, que no era posible observarla, ni en las mejores condiciones atmosféricas, empleando buenos anteojos de noche.

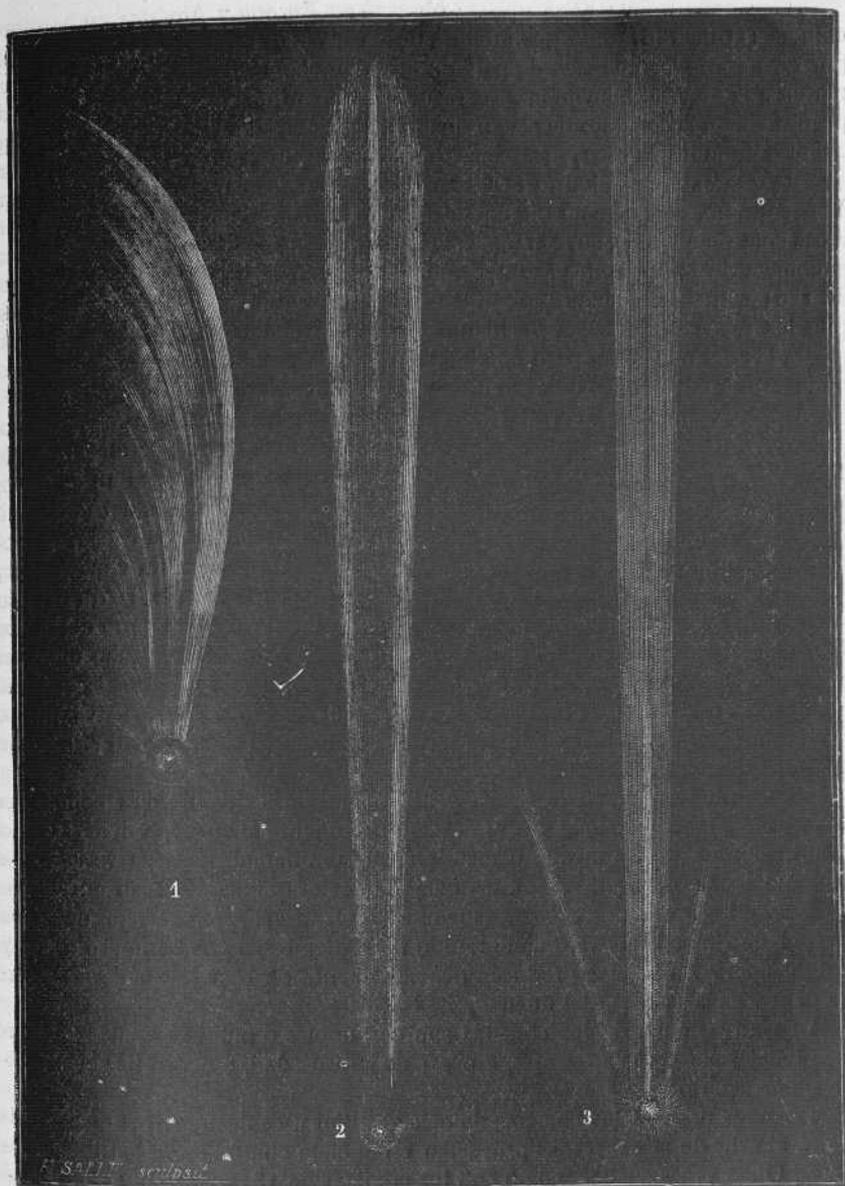
Los cometas I de 1850 y IV de 1851 ofrecieron igual fenómeno: dos colas desiguales, de las que la más corta se dirigía hacia el Sol.

Las observaciones y dibujos de Messier demuestran que el gran cometa de 1769 tuvo, si no una cola múltiple, al menos haces laterales luminosos, que formaban como dos colas secundarias que partían del núcleo, mucho más pequeñas, por otra parte, y menos extendidas en latitud que la cola principal, con cuyo eje formaban dos ángulos desiguales. Todas ellas eran rectilíneas, como puede verse en la lámina siguiente.

El cometa de Donati ofreció en 1858 una particularidad semejante; además de la cola principal, notable por su extensión, su curvatura y su brillo, se columbraron primero uno, y luego dos rastros luminosos, mucho más débiles, rectilíneos, ó al menos que así lo parecieron al primer aspecto, y casi tangentes á las dos curvas que limitaban la cola grande. En varias de las láminas de esta obra se representan con toda la fidelidad posible las diversas modificaciones de este importante fenómeno, según se observó en Europa por Schwabe, desde el 11 de septiembre, luego por Hind, Winnecke y Struve. En América estudiaron las colas secundarias del cometa de Donati, dibujándolas con gran esmero, Bond y otros. Al seguir el desarrollo de estos maravillosos apéndices en las magníficas láminas de la portentosa obra que consagró á este asunto el astrónomo americano, hay que hacer mención de las circunstancias siguientes:

«El 27 de septiembre principia á verse una ligera cola rectilínea, en parte ocultada por la cola principal, y casi de su mismo largo; parece tangente á la parte cóncava de la curvatura; igual aspecto el día 28; el 29 comienza á aproximarse al núcleo; el 30 apenas es visible, pero los días siguientes hasta el 3 de octubre se distingue mejor; entonces tiene una mitad más de largo que la cola principal. El 4 del mismo mes aparece una segunda cola rectilínea, menos larga que la otra, formando con ésta un ángulo sensiblemente igual al de los dos bordes curvos de la cola principal, á contar del núcleo; el día 5 es la más larga y ancha y también la más viva; los días 6, 7 y 8 de octubre, se ve únicamente la más larga de las colas secundarias, pero el 9 reaparece la segunda, si bien por última vez. En esta fecha la convexidad de la cola principal se acentúa, y la más larga de las colas rectilíneas, siempre tangente á esta convexidad, se ha encorvado en su parte inferior, de manera que, prolongada en línea recta, no termina en el núcleo del cometa. Estas apariencias particulares permiten que se considere el cometa de Donati como dotado de una cola triple.»

En el siglo penúltimo se observó un cometa cuya cola, dispuesta como un abanico, presentó hasta seis ramas distintas; fué el cometa de 1744 ó de Chéseaux, que representa la fig. 11 según los dibujos de este astrónomo. El 8 de marzo pudo observarse su extraño aspecto de un modo satisfactorio; las seis ramas divergentes de la cola salían del núcleo en forma de curvas luminosas, cuyos rayos extremos comprendían un ángulo de unos 60° próximamente, estando situados los de mayor longitud hacia la parte cóncava. Chéseaux vió salir el astro antes que el Sol y aparecer sobre el horizonte el gigantesco abanico cuando todavía no era visible el núcleo.



COMETAS DE 1577, 1680 Y 1769

1. Cometa de 1577, según Cornelio Gemma. - 2. Cometa de 1680, según J. C. Sturm
3. Cometa de 1769, según Messier

Hace unos treinta años que se observó en Europa y América un hermoso cometa (II de 1861) que nos interesa desde diversos puntos de vista. Primero, por ser uno de los cometas de período largo que hemos mencionado, pues efectúa en 422 años próximamente su revolución en torno del Sol. Además, como pronto veremos, según to das las probabilidades, atravesó la Tierra su cola el 30 del mes de junio de 1861, suceso cuando menos curioso, aunque no sea sino porque de esta extraña visita no resultó daño alguno para nuestra madre común. Y por último, este cometa fué notable, en la fecha del 30 de junio, por su hermosa cola de abanico, cuyos largos rayos divergentes le dan algún parecido con el cometa de 1744. Todos los rayos que componen la cola múltiple del cometa de 1861 son sensiblemente rectilíneos y arrancan de la cabeza del cometa; tan sólo los rayos extremos, cuyo ángulo medía próximamente 75° , se encuentran separados del núcleo, al paso que los rayos más largos internos afectan una ligera curvatura cuya convexidad se dirige hacia el exterior.

Antes de aparecer bajo esta forma particular se había mostrado el gran cometa de 1861 provisto de dos colas de largo desigual, formando un ángulo de unos 13° . Los dibujos de Liais, efectuados en las fechas del 19 al 28 de junio, no dejan en este respecto duda de ninguna clase, ni tampoco los del P. Secchi. El día 30, en que la Tierra pasó precisamente por el plano de la órbita, se proyectaban ambas colas, la una larga y delgada, la otra más corta y más ancha, para nosotros digamos, una sobre otra; el 2 de julio, fuera ya la Tierra del plano, se las veía separadas. El dibujo de Williams difiere en esta parte del de los demás observadores, lo cual no deja de ser extraño habiéndose hecho todos en un mismo día; pero si es cierto que se haya dirigido hacia nosotros la cola del cometa, la divergencia de los rayos es tan sólo un efecto de perspectiva que ha debido cambiar con gran rapidez en vista de la extremada velocidad relativa de los movimientos de ambos astros.

Así el número como la forma y las dimensiones de las colas cometarias son cosas variables, no sólo cuando se comparan entre sí cometas diversos, sino cuando se trata de un mismo cometa en épocas diferentes; y esta variación se debe á dos causas, la primera, á los cambios reales que se efectúan en el seno del astro mismo con una rapidez á menudo prodigiosa; luego, á efectos de óptica ó más bien de perspectiva, que el rápido movimiento del cometa en su órbita y el de la Tierra en la suya producen necesariamente en el aspecto de las diversas partes de la cabeza, del núcleo y de la cola.

Ya sean las colas de los cometas simples, dobles ó múltiples, pueden reducirse todas sus formas aparentes, á pesar de su variedad, á dos ó tres elementales, por decirlo así.

Tenemos primero los cometas de cola rectilínea, es decir, cuyos rayos luminosos, al salir de la cabeza, se proyectan en el cielo como líneas sensiblemente rectas. Otras veces sucede, como con los cometas de 1843 y 1769 y el de Biela de 1846, que presentan una larga cinta de luz, casi de igual ancho en toda su extensión y de escasa variación en su densidad. También parece que las colas rectilíneas van estrechándose, á contar de la cabeza, para concluir en punta; este aspecto presentaron el cometa de Halley en 1835 (figs. 1 y 2, lámina de la página 79), el de Winnecke en junio de 1868 y el de Henry en agosto de 1873. Por

último, sucede también que los rayos que forman las colas rectilíneas divergen al partir de la cabeza, de suerte que su ancho va creciendo hasta los puntos en que terminan, ó al menos en que la debilidad de su luz no permite percibirlos; uno de estos fué el cometa de 1686 y también el famoso de 1264; á los de esta forma, sin duda, daban los antiguos los nombres de vigas, lanzas y espadas. Por lo demás, una simple reflexión nos hace ver que estas diversas formas pueden ser no más que aparentes, puesto que la misma cola se muestra de uno y otro modo, según la distancia á que se encuentra la Tierra de las distintas partes del apéndice cometario. Simples efectos de perspectiva pueden hacernos ver la misma cola corta ó larga, sin que sus dimensiones reales dejen de ser idénticas.

Examinando la forma de las colas en las inmediaciones del núcleo, con auxilio de un telescopio, se observa con frecuencia que sus bordes extremos se encorvan y llegan á envolver la cabeza; esta curvatura presenta un gran parecido con el vértice de una parábola ó de una elipse muy prolongada, cuyo núcleo ocupase el foco. Tal era, por ejemplo, el cometa de 1819, cuya cola se prolongaba bajo la forma de un cono de bordes casi rectilíneos;

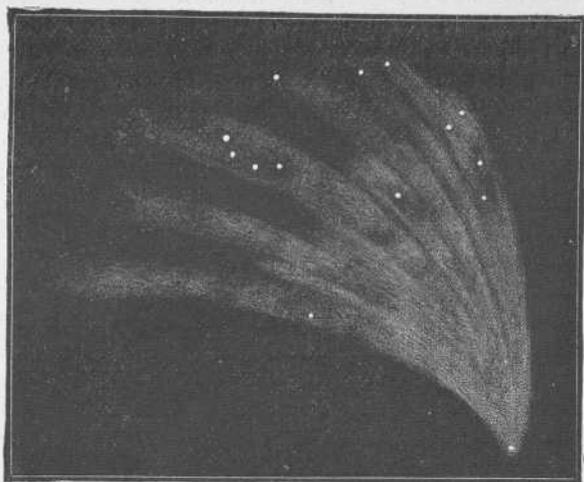


Fig. 11. — Cola séxtuple del cometa de 1744 según Chéseaux

el gran cometa de 1811 tenía los bordes de su cola bastante más luminosos que la parte central, encorvándose alrededor del vértice como para envolver el núcleo. Además de esta curvatura cerca del vértice, puede hallarse encorvada como un abanico la totalidad de la cola, como hemos visto en el cometa de Donati; estos son los cometas de forma de alfanje, en los que nuestros antepasados de la Edad media, preocupados con los peligros que el imperio otomano hacía correr á la cristiandad, veían otros tantos presagios de guerras amenazadoras y terribles; estos son también los que los antiguos, según cuenta Plinio, llamaban cuernos.

En los dibujos de aquella época se encuentran muchos ejemplos de esta clase de cometas, y véase para el caso la figura 1 de la lámina en que se representa el cometa de 1577, pág. 71. Pero no olvidemos que los observadores de antaño no siempre eran hábiles dibujantes, ni tampoco demasiado escrupulosos, y que á menudo se permitían agregar á sus dibujos cuanto tenían impreso de antemano en su fantasía, de cuya manía singular nos ofrece un ejemplo curioso el astrónomo Hevelio. Este sabio incansable y erudito quiso representar en su *Co-*

metografía la especie de cometa que Plinio asimila bajo el nombre de Xiphias á una espada, y le agregó su empuñadura completa.

La curvatura de las colas cometarias tiene por lo general la misma dirección en toda la extensión de estos apéndices, de suerte que uno de los bordes laterales vuelve su convexidad hacia una región del cielo, y el otro borde hacia la región opuesta; ejemplos, el cometa de 1811, el de Donati y otros muchos. Sin embargo, las dos colas del cometa de 1807 tenían su curvatura en sentido opuesto, y un dibujo de este cometa que hemos visto en varias obras clásicas de astronomía representa un fenómeno análogo.

Otra forma algo más rara, y de la que no conocemos más que un ejemplo, la menciona Pingré en estos términos: «Hemos notado, el difunto M. de la Nux en la isla de Borbón, y yo entre Tenerife y Cádiz, que la cola del cometa de 1769 estaba doblemente encorvada hacia un extremo; representaba como la figura de una ∞ .» No perdamos de vista que de este mismo cometa publicó Messier varios dibujos, en los que se presenta la cola como una cinta rectilínea, más brillante en los bordes que en el eje ó parte interior. Esta última particularidad es asimismo muy general; no obstante, puede presentarse lo contrario, como sucedió con el cometa de 1618. «Se vió en Roma, dice Pingré, una especie de núcleo, como lo llama Hevelio, en la cola del último cometa de 1618; era como una línea ó trazo brillante que, como la medula de un árbol, se extendía en toda la longitud de la cola, dividiendo en dos su ancho. Keplero y Schickard vieron este mismo fenómeno, pero entonces no dividía el ancho de la cola; costeaba uno de sus bordes, lo que es más conforme con lo que se observa ordinariamente.»

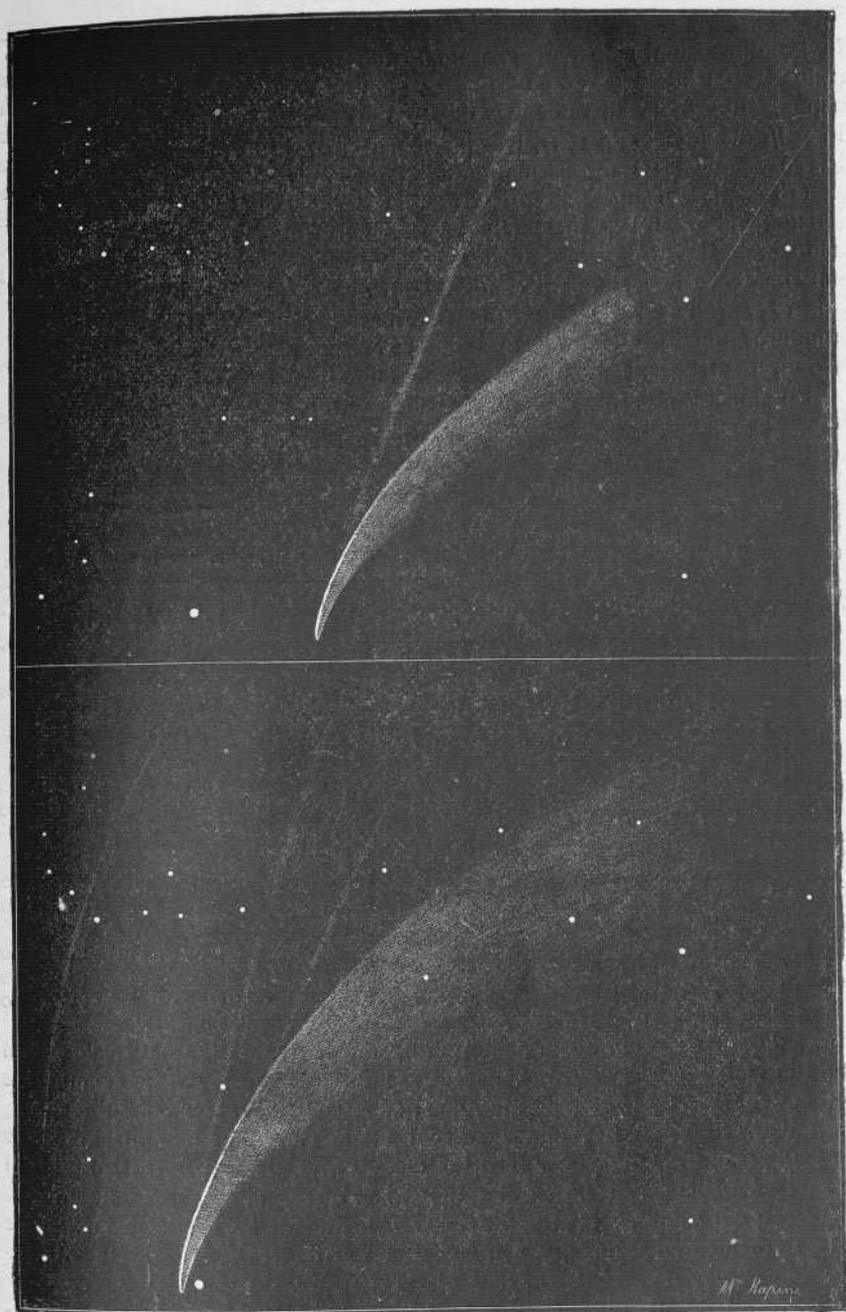
Fuera parte de las formas que acabamos de describir y que son bastante regulares como para definir las de un modo preciso, pueden las colas de los cometas afectar apariencias irregulares y extrañas. En las relaciones relativas á los grandes cometas históricos, observados á la simple vista por gentes que de todo tenían menos de astrónomos, se encuentran mencionados los aspectos más extraordinarios; pero no es posible admitir estas sencillas y candorosas descripciones, por lo común alteradas por las creencias supersticiosas de los testigos.

Los astrónomos modernos son los que siguen con fidelidad escrupulosa, y dibujan con la mayor exactitud, las formas de los núcleos, atmósferas y colas cometarias, á medida que con el telescopio observan cualquiera modificación en los mismos.

Las evoluciones de estos fenómenos poco se conocen aún, y deberán estudiarse sin idea preconcebida, si se quiere edificar una teoría que se halle al abrigo de las denegaciones de la observación, y el único medio de descubrir la verdad en astronomía y en todas las ciencias naturales consiste en principiar por recoger los hechos, razonándolos y apoyándose siempre en ellos.

Puesto que hemos comenzado á formar la estadística de los elementos cometarios, daremos también algunos detalles sobre las dimensiones aparentes y reales de las colas.

Al principio sólo consideraremos, para cada apéndice cometario, las dimensiones máximas que ofrecen vistos desde la Tierra, dimensiones que se miden en grados, según la extensión aparente que ocupan en la bóveda de los cielos;



COMETA DE DONATI, según P. G. Bond

1. El 3 de octubre de 1858. - 2. El 5 de octubre

de las dimensiones aparentes pasaremos en seguida á las dimensiones reales, evaluadas en kilómetros ó en leguas. En el primer respecto variará la escala de las magnitudes, de su valor más ínfimo á los más considerables; desde la cola de $2^{\circ} \frac{1}{2}$ del cometa de 1851, hasta la inmensa cola de 100° que tuvo el cometa de 1264, y aun hasta aquella más grande todavía del cometa de 1861, que alcanzó 118° de largo, superando así en 28° la distancia aparente de un punto del horizonte al cenit. Pero no serán las diferencias menos considerables cuando comparemos las dimensiones reales. Mientras que el segundo cometa de 1811 tenía una cola de cerca de tres millones de leguas, los grandes cometas I de 1811, I de 1847, 1687 y 1843, lanzaban en el espacio, al lado contrario del Sol, rastros luminosos inmensos que medían desde 44 millones hasta 80 millones de leguas, esto es, una longitud doble de la distancia que hay de la Tierra al Sol.

En el cuadro que insertamos á continuación hallará el lector reunidos varios de estos elementos:

Cometa		Distancias perihelias	LONGITUD DE LAS COLAS	
			aparentes en grados	reales en leguas
Cometa	I de 1851.	1.700	$2^{\circ} 30'$	-
»	III 1860.	0.292	15	8.750.000
»	1825.		17	-
»	1744.	0.222	24	7.500.000
»	I 1811.	1.035	25	44.000.000
»	II 1811.	1.582		2.750.000
»	1456.	0.853	57	-
»	I 1843.	0.005	65	80.000.000
»	VI 1858.	0.578	64	22.000.000
»	1689.	0.019	68	-
»	1837.	0.580	79	-
»	1680.	0.006	90	60.000.000
»	1769.	0.123	97	16.000.000
»	1264.	0.312	100	-
»	1618.	0.389	104	20.000.000
»	I 1847.	0.426		52.500.000
»	1861.	0.822	118	17.000.000

La discordancia entre las longitudes aparentes y las longitudes reales es en verdad notable, y casi no parece necesario indicar la causa, pues se comprende que se deba á la posición particular que ocupa la cola respecto del observador, ó sea al ángulo visual bajo el cual se ve desde la Tierra una línea más ó menos inclinada según las posiciones relativas de la Tierra, del plano de la órbita del cometa y del cometa mismo, en el momento en que se midieron las dimensiones aparentes; del valor en grados, y del conocimiento de las posiciones de que se trata, se deduce en seguida, por el cálculo, la verdadera longitud del rastro luminoso.

De otro lado, distan mucho las dimensiones observadas de concordar siempre entre sí, para una misma y única cola, y por lo tanto, la evaluación exacta de las longitudes reales es muy imperfecta. Es también extremadamente difícil

distinguir los límites de un resplandor tan tenue como el que ofrecen la mayor parte de las colas cometarias, por lo menos en el extremo opuesto al núcleo. La pureza del cielo, la potencia y calidad de los anteojos y aun la vista del observador, son otros tantos elementos variables. Decía Lalande á este propósito: «En los países meridionales, en los que se disfruta de un cielo puro y sereno, se distinguen mejor, y parecen más largas, las colas de los cometas; el de 1759 se presentó en París casi sin cola y costaba gran trabajo columbrar un pequeño vestigio de uno ó dos grados; al paso que en Mompeller estimaba Ratte que el 29 de abril medía 25° en su totalidad, siendo la parte más luminosa de 10°. M. de la Nux, en la isla de Borbón, la vió mucho más grande, por la misma razón que hace que la luz zodiacal sea siempre visible.»

Tenemos ahora que llamar la atención acerca de un fenómeno de la mayor importancia para la constitución física de los cometas; nos referimos al desarrollo y á las modificaciones que sufren las colas, según la posición que ocupa el astro en su órbita, esto es, según que es mayor ó menor su distancia al Sol.

Vimos ya que las colas de los cometas nacen y se desarrollan á menudo durante su período de visibilidad, y generalmente antes de su paso por el perihelio. «Se ha observado constantemente, dice Pingré, que un cometa que va hacia su perihelio no comienza á formar cola sino cuando se aproxima al Sol; el hermoso cometa de 1680 no tenía cola el 14 de noviembre, 34 días antes de su perihelio. El largo real de la cola aumenta de día en día, y la cabeza, ó más bien la cabellera que la rodea, parece disminuir por el contrario. La cola llega á su largo máximo poco tiempo después del paso perihelio del cometa; luego disminuye por grados, de tal modo, sin embargo, que á iguales distancias del perihelio es más larga la cola después del paso, que lo era antes. Se ha observado además que los cometas cuya distancia perihelia excedía en mucho á la distancia media de la Tierra al Sol, no adquieren cola, y que la de los otros era tanto más hermosa, en igualdad de circunstancias, cuanto más pequeña era su distancia perihelia.»

Las leyes que de esta suerte formulaba el ilustre autor de la *Cometografía* son en verdad generales y pueden aplicarse á todos los cometas conocidos? Sin duda que no, como vamos á verlo bien pronto; no obstante, lo que sí parece cierto es que con la mayor frecuencia hay una relación evidente entre el nacimiento, la formación y el desarrollo de las colas cometarias, y la mayor ó menor proximidad de estos astros al Sol.

Tomemos primero como ejemplo el cometa de Halley en su aparición de 1835. Cuando por primera vez se distinguió, tenía el aspecto de una nebulosidad ligeramente ovalada y casi desprovista de cola. El 2 de octubre, es decir, mes y medio antes de su paso por el perihelio, que tuvo lugar el 16 de noviembre, empezó á formarse una cola, que tres días después llegó á alcanzar ya una longitud de 4 á 5 grados. Los días siguientes continuó creciendo en longitud, y el 15 alcanzó un máximo que fué de 20°. El 16 se hallaba reducida á 10 ó 12 grados, el 26 á 7°, el 29 á 3° y el 5 de noviembre á 2 1/2°. «Hay motivo para creer, dice Herschel, que antes de llegar al perihelio, había desaparecido la cola completamente, pues en Pulkowa continuaron observando el cometa después de la época de su paso por el perihelio, sin que se haya hecho mención del menor vestigio

de cola.» Ciertamente es que un dibujo del mismo Herschel, hecho el 28 de enero, parece indicar que una parte de la atmósfera del cometa se prolongaba en forma de apéndice luminoso; pero el 3 de mayo, poco más de cuatro meses y medio después del paso del cometa por el perihelio, había desaparecido la cola por completo, tomando el astro su primitiva forma de nebulosidad globular.

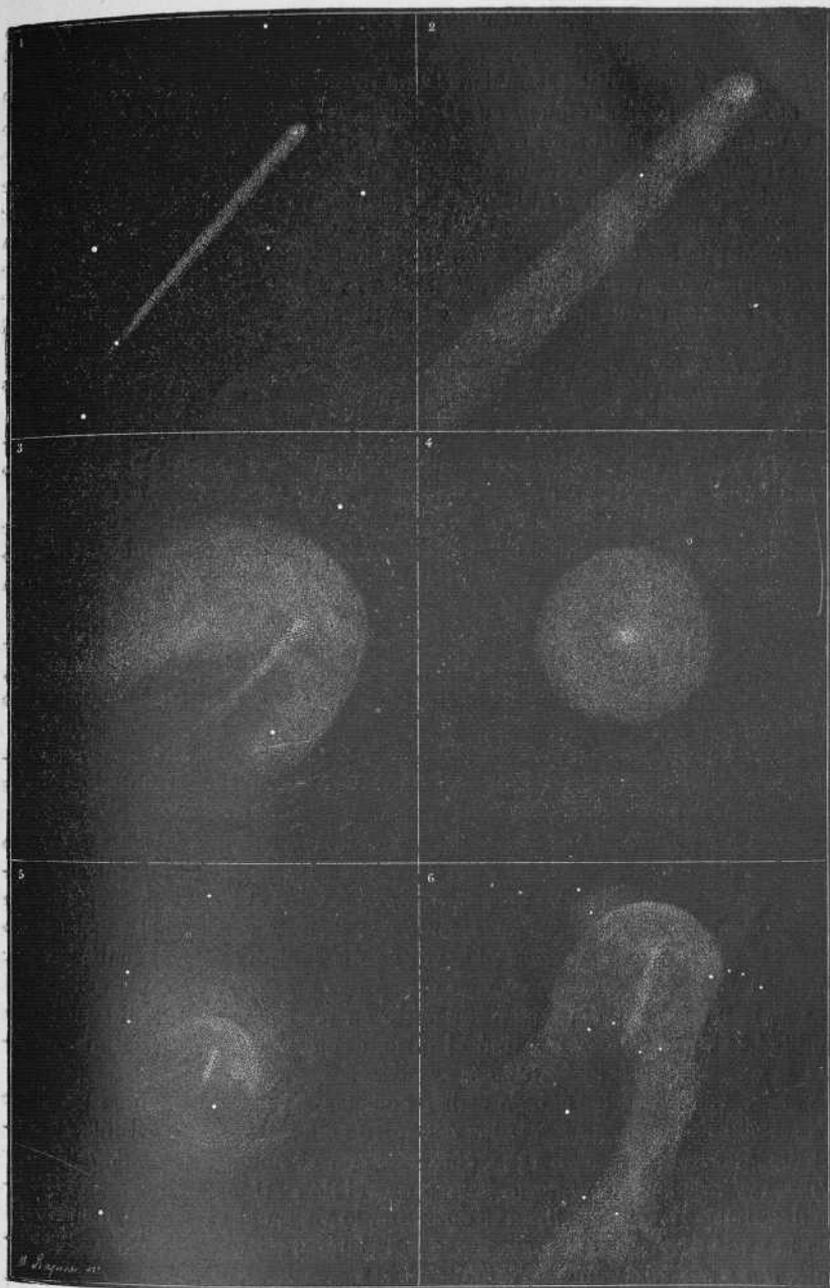
El cometa de Donati (VI de 1858) va á suministrarnos sobre el mismo punto detalles interesantes. La primera apariencia de cola fué observada en Copenhague y en Viena el 14 de agosto, setenta y tres días después del descubrimiento del cometa, y cuarenta y seis antes de su paso perihelio; entonces sólo presentaba un largo aparente de 10'. Desde esta época fué aumentando el largo de la cola de un modo casi continuo, y al concluir el mes de agosto alcanzaba 2°.

La longitud máxima aparente tuvo lugar el 10 de octubre, once días después del paso por el perihelio, en cuya fecha midió la cola 64 grados. Desde este momento fué disminuyendo con mayor rapidez de la que tuvo al crecer y el 3 de diciembre, en Río Janeiro, tan sólo medía 55'. Tres días después desapareció, tomando el cometa la forma esférica, con núcleo algo excéntrico situado hacia el lado del Sol, según pudo observar Liais.

Los ejemplos que acabamos de presentar, sin duda que no bastan para que se considere que el desarrollo de las colas cometarias depende exclusivamente de las variaciones de las distancias de un cometa al Sol; en todo caso se ve que de un cometa á otro pueden ocurrir diferencias notables; la cola del cometa de Halley, cuando apareció en 1835, llegó á alcanzar su máximo antes de que el astro pasase por el perihelio, desapareciendo por completo cuando el paso llegó á verificarse; por el contrario, la cola del cometa de Donati obtuvo su largo máximo después del perihelio, y transcurrieron dos meses completos antes de que llegase á desaparecer en totalidad y de que el astro tomara de nuevo su forma de nebulosidad globular.

Todos los cometas aparecidos antes del siglo XVI fueron visibles á la simple vista; sus cabezas, núcleos ó cabelleras, eran, pues, bastante considerables; los más débiles tenían por lo menos el brillo de las estrellas de 5.^a á 6.^a magnitud, ó si la luz del núcleo era menor que la de las estrellas de este orden, podemos suponer que la extensión de la nebulosidad envolvente compensaba esta diferencia respecto de la visibilidad. Esto es aplicable también á todos los cometas que han podido observarse á la simple vista, después del invento del anteojito; pero ya sabemos que con auxilio de los instrumentos se distinguen cometas tan débiles que apenas se columbran como nebulosidades difusas sin núcleo ni condensación, á pesar de lo cual son varios de estos últimos, cometas periódicos; se aproximan notablemente á la Tierra, y por lo tanto no es por su desmesurada distancia por lo que son tan difíciles de percibir. Así, pues, hay entre los cometas la misma variedad, desde el punto de vista de las dimensiones y del brillo, que entre las estrellas.

Ciertos cometas han ofrecido dimensiones enormes y una luz en extremo viva. Las antiguas tradiciones atestiguan esta intensidad; pero es cierto que no siempre hay que tomar al pie de la letra las relaciones que contienen estas crónicas, porque por lo común encierran exageraciones evidentes. Tal es el cometa del año 183 antes de nuestra era, que, «más brillante que el Sol, se vió durante



COMETA DE HALLEY, según sir J. Herschell

1. El cometa á la simple vista, el 24 octubre de 1835 - 2. Visto con un antejo de siete pies de distancia focal. - 3, 4, 5 y 6 Detalles de la cabeza del cometa, desde fin de octubre de 1835 hasta principios de febrero de 1836.

el día en los Peces.» Tal es también el que refiere Séneca y que apareció en el año 146: «Después de la muerte de Demetrio, rey de Siria, padre de Demetrio y de Antíoco, poco antes de la guerra de Acaya, brilló un cometa tan grande como el Sol. Al principio era un disco de un rojo inflamado, una luz bastante resplandeciente para vencer á la noche. Insensiblemente disminuyó de tamaño; se debilitó su brillo y desapareció totalmente.» Otro cometa, amplificado por la imaginación de los observadores, fué el que apareció el año 136 (nacimiento de Mitrídates), permaneciendo visible durante 70 días. «Todo el cielo parecía de fuego y el cometa ocupaba como una cuarta parte, siendo su brillo superior al del Sol.»

En la *Cometografía* de Pingré se leen las descripciones siguientes de algunos cometas notables por sus dimensiones ó el brillo de su luz.

1066. Siendo joven Alí Ben Rodoán, se vió un cometa en el 15° del Escorpión: la cabeza era tres veces más grande que Venus; lanzaba tanta luz como el cuarto de la Luna.

1106. Grande y hermoso cometa. Primero se vió el 4, y según otros el 5 de febrero, una estrella que distaba del Sol escasamente pie y medio; así se vió desde la tercera hasta la novena hora del día. Varios autores han dado á esta estrella el nombre de cometa.

1208. En este año apareció un cometa. Durante dos semanas se vió después de la postura del Sol una estrella tan brillante que, semejante al fuego, producía una gran luz. Los judíos la consideraron como signo del advenimiento del Mesías.

1402. Cometa muy grande y brillante; nadie recordaba haber visto un prodigio de tal naturaleza. (Se supone que esta es una aparición anterior de los cometas de 1532, de 1661...)

Crecía por grados en tamaño y esplendor, aproximándose al Sol. El día 19 de marzo, Domingo de Ramos, y los dos días siguientes, su aumento fué prodigioso; el domingo medía su cola veinticinco brazas; el lunes, cincuenta y aun ciento; más de doscientas el martes. Entonces dejó de verse por la noche, pero durante los ocho días siguientes se le vió de día junto al Sol, al cual precedía; la medida de su cola no era más que una ó dos brazas; su brillo era tal, que á pesar de la luz del Sol, era fácil distinguirlo en pleno mediodía. Si la supuesta identidad es verdadera, se percibió el mismo cometa en 1532 con un resplandor tres veces superior al de Júpiter.

Vemos, pues, que ha habido varios cometas bastante brillantes para que hayan podido compararse con la luz del Sol; de ellos, tres fueron visibles durante el día. El gran cometa de 1500, conocido con el nombre de Asta, del *Señor Astone*, también se vió al mismo tiempo que el Sol: «Unos viajeros que se dirigen del Brasil al Cabo de Buena Esperanza, lo vieron el 12 de mayo; aparecía hacia la parte de Arabia; sus rayos eran muy largos; así se le observó continuamente, *día y noche*, durante ocho ó diez días.»

Que haya habido cometas bastante brillantes para que su luz penetrase á través del cielo iluminado por el Sol, no puede ponerse en duda después de las observaciones de un astrónomo como Tycho Brahe respecto del cometa de 1577 y las de los sabios contemporáneos sobre el gran cometa de 1843. «El 13

de noviembre de 1577, aún no había desaparecido el Sol bajo el horizonte, cuando este nuevo astro (el cometa) hirió la vista del gran Tycho; juzgó que e diámetro de la cabeza era de 7 minutos.»

En cuanto al cometa de 1843 no puede dudarse de que era visible en pleno día, por lo que dice Arago: «Columbrado al principio el cometa por algunos curiosos en pleno Sol, y considerado como un meteoro, se hallaba á la hora de l mediodía, según una observación de Amici, 1° 23' hacia el Este del centro del Sol. Amici dice únicamente que el astro humeaba hacia el Este. Los observadores de Parma aseguran que, colocándose detrás de un muro que ocultase el Sol, se veía una cola de 4 á 5 grados de largo.» El mismo día, 28 de febrero, en Méjico, á las 11 de la mañana, según el *Diario del Gobierno*, «se veía el cometa á la simple vista cerca del Sol, como una estrella de primera' magnitud, con un principio de cola que se dirigía hacia el Sur.» M. Bouring, en las minas de Guadalupe y Calvo (Méjico), vió el cometa el 28 de febrero desde las nueve de la mañana hasta la puesta del Sol. En Portland (Estados Unidos) M. Clarke vió el cometa á la simple vista y en mitad del día, al oriente del Sol. Herschel cita una observación efectuada por los pasajeros de un buque que se dirigía al Cabo de Buena Esperanza. «El cometa apareció como un puñal pequeño, cerca del Sol, poco antes de su ocaso.» Según Clarke, «el núcleo y ciertas partes de la cola se encontraban tan perfectamente limitadas como los bordes de la Luna en un día sereno.»

Un siglo antes, en 1743, se observó en Europa el cometa de Chéseaux que varias veces hemos mencionado, y cuyo resplandor superaba al de las estrellas de primera magnitud. El 9 de enero de 1744 igualaba la cabeza del cometa á las estrellas de segunda magnitud, y quince días después era su diámetro de 10 segundos. El 26 de enero alcanzó casi la primera magnitud; el 1.º de febrero superó á Sirio, y por último, hacia fines del mes y principios de marzo, había llegado á ser tan brillante, que era visible durante el día á pesar de la luz del Sol. Pero una circunstancia notable y que refiere Chéseaux es que del 13 de diciembre al 29 de febrero (al día siguiente, 1.º de marzo, pasó el cometa por el perihelio) fué disminuyendo constantemente la magnitud de la atmósfera, como si el aumento de brillo de la cabeza estuviera producido por la desaparición de la nebulosidad que envolvía el núcleo, ó también por una condensación de la atmósfera nebulosa.

Todas las observaciones de que acabamos de dar cuenta permiten formarse una idea del resplandor de las luces cometarias y de la intensidad que puede alcanzar su brillo, pero no indican nada acerca de las dimensiones de los núcleos ó de las atmósferas. Vamos á presentar sobre este punto los resultados de varias medidas, las que no deben aceptarse ciegamente como exactas, pues distan mucho de ofrecer la precisión de las demás evaluaciones de las magnitudes de los cuerpos celestes que hemos examinado, como los planetas, la Luna y el Sol. La razón de esta incertidumbre que señalamos no proviene de las dificultades que se experimentan en la determinación de estas medidas en sí, por más que en algo contribuyen á ello. Los núcleos, lo mismo que las nebulosidades cometarias, presentan pocas veces contornos detallados y precisos; pero las variaciones que sufren las distintas partes de la cabeza de un cometa, durante

su aparición, son las que no permiten que los números que vamos á presentar se consideren como elementos constantes, y, por consecuencia, característicos de los astros á que se contraen.

Hechas estas aclaraciones, véanse los dos cuadros siguientes, que contienen varios de los resultados obtenidos en las medidas de las dimensiones de las atmósferas y de los núcleos cometarios.

DIMENSIONES DE LOS DIÁMETROS DE LOS NÚCLEOS COMETARIOS

Cometa	I de 1798	11 leguas
»	1805	12 »
»	I 1799	155 »
»	I 1811	172 »
»	1807	222 »
»	II 1811	1 090 »
»	I 1819	1.312 »
»	I 1847	1.400 »
»	I 1780	1.700 »
»	I 1843	2.000 »
»	1815	2.120 »
»	VI 1858	2.250 »
»	1769	11 250 »

DIMENSIONES DE LOS DIÁMETROS DE LAS ATMÓSFERAS COMETARIAS

Cometa	I de 1779	500 leguas
»	1807	750 »
»	V 1847	7.200 »
»	I 1847	10.200 »
»	II 1849	20.400 »
»	I 1843	38 000 »
»	de Brorsen 1846	52 000 »
»	Lexell 1770	81.500 »
»	I 1846	97.250 »
»	Encke 1828	106.250 »
»	I 1780	107.500 »
»	Halley 1835	142.500 »
»	I 1811	450.000 »

Comparando estos cuadros entre sí, se ve que los cinco cometas (I 1799, I 1811, 1807, I 1847, I 1780, I 1843) cuyos núcleos y atmósferas se han medido de igual manera, no ocupan la misma categoría; hay sobre todo una diferencia notable respecto del gran cometa de 1811, cuyo núcleo, bastante pequeño, se hallaba rodeado por una nebulosidad inmensa. Comparado con el volumen del globo terrestre, era tan sólo el núcleo como la 6.300.^a parte, al paso que el de la cabellera valía 2.800.000 veces más, es decir, que superaba al duplo del volumen del mismo Sol.

Para justificar las observaciones que presentamos antes, tomemos como ejemplo el hermoso cometa de Donati, ó de 1858, cuyos elementos físicos fueron estudiados cuidadosamente por Bond. El diámetro de 2.250 leguas que hemos indicado, es relativo á las dimensiones del núcleo en la fecha del 19 de julio.

El 30 de agosto siguiente se hallaba reducido á la sexta parte y no medía más que 1.875 leguas; continuó decreciendo hasta el 5 de octubre, en cual fecha sólo tenía unas 162 leguas, es decir, un valor 14 veces más pequeño que al principio. Al siguiente día alcanzó 325 leguas, duplicando así sus dimensiones de un día á otro y creciendo el volumen del núcleo en la proporción de 1 á 8. Finalmente, el 8 de octubre alcanzó el diámetro un nuevo máximo de 450 leguas y se redujo aún á la mitad de su valor.

Hevelio, en el libro VI de su *Cometografía*, describe el aspecto físico del cometa de 1652, la magnitud de la cola y de la cabeza, su brillo y el color de su luz. Hace observar que, disminuyendo de día en día las dimensiones aparentes del cometa, hay que atribuir esta disminución al alejamiento creciente del astro á la Tierra, pero que en realidad «su magnitud absoluta aumentaba positivamente de día en día.» Esta observación, cuyo valor niega Pingré, por no creer que Hevelio hubiese podido medir con bastante precisión las dimensiones del astro, ni calcular exactamente sus distancias á la Tierra, se ha generalizado; y varios astrónomos, entre los que hay que contar á Newton, han admitido que los diámetros de las nebulosidades cometarias aumentan á medida que se alejan los cometas del Sol. ¿Existen ejemplos auténticos de estos cambios y modificaciones? Arago cita los cometas II de 1618 y de 1807 como habiendo presentado manifiestamente este fenómeno; pero el último fué aún más evidente, gracias á las apariciones de 1828 y 1838 del cometa de período corto. Veamos, según el ilustre astrónomo, el cuadro de estas notables variaciones.

DIÁMETROS REALES DEL COMETA DE ENCKE

Fechas	Distancias al Sol	Diámetros en leguas
28 de octubre 1828.	1,46	130.000
7 » noviembre	1,32	106.000
30 » noviembre	0,97	49.000
7 » diciembre.	0,85	33.000
14 » diciembre.	0,73	18.000
24 » diciembre.	0,54	5.000

La disminución de los diámetros es mucho más rápida que la de sus distancias al Sol; las seis distancias varían, en efecto, en la relación de los números 100, 90, 65, 58, 50 y 36, mientras que los diámetros correspondientes son entre sí como los números 100, 81, 38, 25, 14 y 4; la distancia se encuentra al fin casi reducida al tercio, el diámetro es 25 veces menor, y si de éste pasamos al volumen de la nebulosidad, se hallaría que del 28 de octubre al 24 de diciembre se había reducido éste á la 17.600.^a parte de su primer valor.

Una masa globalar, sólida ó líquida, envuelta por todas partes por una ligera y relativamente delgada capa aeriforme, es, desde el punto de vista físico, la definición más sumaria de un planeta; lo que forma su permanencia relativa es, de una parte, la preponderancia del globo central, en el que no parece que los fenómenos generales se modifiquen sino con larguísimos intervalos; de otra parte, el

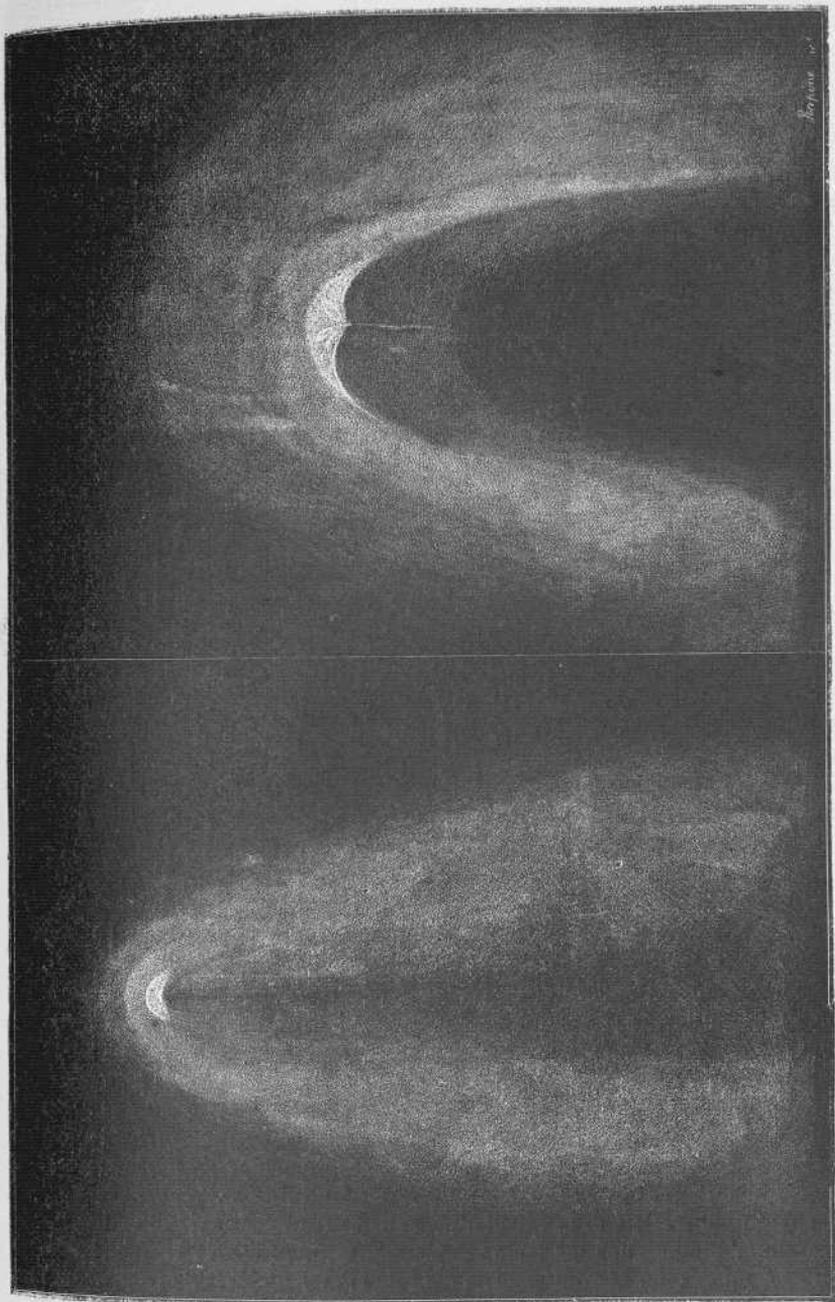
escaso espesor de su atmósfera, es decir, de la porción del planeta que más sujeta se halla á las variaciones y movimientos intestinos.

Hemos podido ver ya que en los cometas esta relación se encuentra invertida; lo que en ellos predomina es la atmósfera, la envoltura nebulosa, si no es que llega también á constituir todo el astro. A lo más puede presentirse que algunos cometas tengan un núcleo sólido ó líquido, y en todo caso, el volumen no es, por lo general, sino una porción muy débil del volumen total de la nebulosidad, aunque no lleguemos á comprender la cola. Los cuadros anteriores nos demuestran que los volúmenes de los núcleos en los cometas de 1799 y de 1807 sólo son, próximamente, las 27 milésimas de los que corresponden á las nebulosidades; esta relación desciende á $\frac{1}{8000}$ en el cometa de 1843, á $\frac{1}{10000000}$ en el gran cometa de 1811. Tal cometa, que en una porción de su órbita parece reducirse á una simple nebulosidad, presenta poco á poco una condensación luminosa, un núcleo, el cual aumenta ó disminuye de brillo y de volumen. En la constitución de estos astros extraños puede decirse que no hay nada estable ni permanente; así la variabilidad de aspecto parece ser uno de los caracteres peculiares de los cometas. Vimos ya que los núcleos y las atmósferas cambiaban considerablemente de forma y de volumen en el curso de una misma aparición; hemos visto nacer, formarse y desarrollarse, para reducirse luego á la nada, los inmensos apéndices que suelen acompañar á muchos cometas. Nos quedan que estudiar los cambios interiores, los que no pueden comprobarse sin el auxilio de instrumentos de gran potencia; nos queda que ver también si no existe algún lazo entre los fenómenos externos de las colas y los movimientos de la cabellera y del núcleo; si unos y otros no están sujetos á algún influjo exterior, como el calor del Sol ó cualquiera otra fuerza natural.

Describiendo todos los cometas órbitas de excentricidad considerable, deben, en el curso de una de sus revoluciones, hallarse expuestos á enormes diferencias de temperatura; las variaciones extremas de calor y de frío, que precisamente han de sentir del perihelio al afelio, no pueden dejar de provocar en estas masas de vapor, de gas ó de corpúsculos diseminados en inmensos volúmenes, movimientos, dilataciones ó contracciones, quizás acciones químicas, de las que en nuestro planeta no podemos formarnos idea alguna; los fenómenos de las manchas y protuberancias solares serían los únicos capaces de suministrarnos algunos términos de comparación, con estas rápidas y singulares transformaciones.

Los continuos cambios que tienen lugar en las cabezas de gran número de cometas, fueron comprobados por vez primera por Heinsio, que observó en San Petersburgo el gran cometa de 1744 ó de Chéseaux. «El 5 de enero, dice Arago, no vió Heinsio nada de particular en la cabellera del cometa; pero el 25 descubrió un penacho luminoso de forma triangular, cuya punta terminaba en el núcleo, dirigiéndose hacia el Sol la abertura. Los bordes laterales de este penacho parecían encorvados, como si hubieran sido rechazados de dentro á fuera por la acción del Sol. El 2 de febrero, estos mismos bordes, más encorvados aún, formaban los dos lados de un principio de cola, que se hizo más distinta en los siguientes días.»

Permanecieron aisladas estas observaciones hasta el regreso del cometa de Halley en 1835. La formación de los sectores luminosos que parecían elevarse



CABEZAS Y NÚCLEOS DE LOS COMETAS

1. Cometa de Donati, según G. P. Bond, el 29 de septiembre de 1858. - 2. Cometa de 1861, según Warren de la Rue, el 2 de julio 1861.

del núcleo hacia el Sol, la variación de sus posiciones, de su número y de su brillo, todos estos fenómenos tan curiosos é instructivos, se observaron en varios puntos de Europa; en el Observatorio de París por Arago, en Dessau y Koenigsberg por Schwabe y Bessel, en Islandia por Cooper y en Florencia por Amici. Desde el 7 de octubre hasta el 10 de noviembre, presentó la cabeza del cometa una sucesión de aspectos que en parte reproducimos en la lámina de la página 79, en la cual se representan las observaciones que Herschel hizo en el Cabo. Estudiando é interpretando Bessel estos resultados, llamó la atención de los sabios y observadores hacia esta parte de la astronomía cometaria, muy abandonada hasta entonces, resultados que la erudita pluma de Arago contribuyó á propagar con las noticias científicas que insertaba en el Anuario de la Oficina de las Longitudes. Insistió Bessel, sobre todo, en un hecho de la mayor importancia; había notado que el cono luminoso, sector ó penacho, emanado del núcleo, emitido primero en la dirección del radio vector, se alejaba poco á poco y en cantidad notable de su dirección primitiva, para volver á ella de nuevo y superarla, pero en inverso sentido. De aquí dedujo la existencia de un movimiento de rotación, ó más bien de oscilación, de la cabeza y del núcleo en el plano de la órbita. Esta oscilación dió origen á la hipótesis, notable bajo todos conceptos, de la existencia de una fuerza polar que tuviera su foco de acción en el Sol y que hiciese oscilar los cuerpos cometarios como una barra magnética hace oscilar la aguja imantada.

Otros cuatro cometas han presentado fenómenos análogos, pero con diferencias que vamos á señalar; el cometa de Donati (1858), el III de 1860, el II de 1861 y finalmente el II de 1862, del que daremos algunos detalles que harán comprender el modo de formación y el desarrollo de los penachos luminosos, y de las envolturas nebulosas á que dan origen estos mismos penachos, y por último, de las colas, que la materia cometaria emanada de esta suerte del núcleo central, parece formar bajo el influjo de una especie de repulsión cuya causa habrá que investigar en seguida.

En el cometa de Donati, los rayos de materia luminosa que se escapaban del núcleo, como otros tantos penachos desarrollados en forma de abanico del lado del Sol, produjeron alrededor de la cabeza envolturas sucesivas, que, al alejarse, disminuían de brillo, aproximándose al mismo tiempo unas á otras. Esta especie de aplanamiento lo consideró el astrónomo Bond como resultante de una disminución progresiva en la velocidad de expansión de cada envoltura.

Sucesivamente se formaron siete de éstas, elevándose sobre el núcleo en períodos que variaron de 4 días y 16 horas, á 7 días y 8 horas. Cada una de ellas permaneció así, como retenida por el núcleo, durante cierto tiempo, adquiriendo gradualmente la propiedad de ser empujada hacia atrás, para ir á formar á ambos lados del núcleo las dos ramas de la cola principal. Los penachos han presentado siempre la misma dirección respecto del Sol, de suerte que se debe deducir que ni el núcleo, ni la cabellera, estaban dotados de movimiento rotatorio sensible; que ninguna oscilación de este género, además de la que observó Bessel, se manifestó en la cabeza del cometa de Donati, salvo el movimiento que exige la dirección constante de los sectores luminosos hacia el Sol. Esta carencia misma de movimiento rotatorio implica, según Bond, la acción de una

fuerza polar emanada del Sol, que mantendría el eje del núcleo hacia el foco del movimiento.

Los cometas de 1860 y 1861 fueron también teatro de emisiones nucleares en una dirección permanente: la primera, durante dos semanas, y la segunda, durante un mes. Once envolturas sucesivas salieron del núcleo del cometa de 1861 á intervalos regulares de dos horas. Su desarrollo y disipación final se llevaron á efecto, como se ve, con mucha mayor rapidez que en el cometa de Donati.

Vamos á presenciar ahora las evoluciones de los sectores luminosos del gran cometa de 1862, que presentó, por el contrario, oscilaciones análogas á las de los penachos del cometa de Halley. Para esto seguiremos la descripción del astrónomo francés Chacornac, cuyos dibujos insertamos en el texto, los cuales fueron ejecutados durante la aparición de este notable cometa.

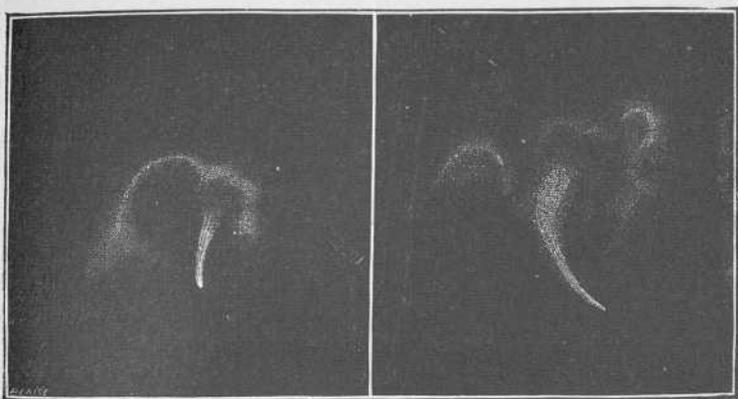


Fig. 12. — Evoluciones de los penachos ó sectores luminosos del gran cometa de 1862, según las observaciones de Chacornac: cabeza del cometa el 23 de agosto á la una de la mañana y á las nueve de la noche del mismo día.

Desde el 10 de agosto de 1862 pudo comprobar Chacornac en la cabeza del astro la presencia de un penacho luminoso, de un sector brillante vuelto hacia el Sol y que de 46 grados de amplitud á las tres de la madrugada, llegó á abrirse al siguiente día á las dos, como la corola de una convolvulácea, y abrazaba 65 grados. El núcleo tenía el 10 el aspecto de un cohete, de un diámetro mucho más extendido en la dirección perpendicular. Observemos que lo contrario ocurrió en los núcleos de los cometas de 1858 y 1861, que parecían aplanados en el sentido del radio vector. El 11 eran iguales ambos diámetros; volvieron sucesivamente á desprenderse del núcleo nuevos penachos, y con fecha del 26 de agosto, á las diez de la noche, deducía el observador que se habían sucedido del 10 al 26 de noviembre, en número de 13, pero vamos á ver con cuántas modificaciones. Habiendo seguido durante todo este intervalo, excepto en tres noches nubladas, los sucesivos penachos, dió Chacornac en los siguientes términos la descripción sumaria y la interpretación de los fenómenos:

«El núcleo del cometa emite periódicamente, en la dirección del Sol, un

haz gaseoso de donde se escapan partículas de materias cometarias, como del émbolo de una máquina se escapa un chorro de vapor. Este haz conserva durante cierto tiempo formas rectilíneas, como si una fuerza considerable de proyección que residiese en el núcleo, lanzara en esta dirección las partículas; luego se encorvan un poco, tomando la forma de un cono ligeramente arqueado. En este momento, la materia cometaria acumulándose en la extremidad del haz más próximo al Sol, forma una especie de nube, cuyos contornos redondeados, parecen indicar que á esta distancia del núcleo la fuerza de proyección es inferior á la resistencia que encuentra; refluendo entonces de una á otra parte, como una columna de humo agitada por el viento, se extiende la materia en capas de nivel, cuya salida (fig. 13) parece tener lugar por la cola.

» Poco á poco toma el cono vaporoso, cuyo eje y vértice han parecido siempre las partes más luminosas, un aspecto difuso, nebuloso, como si una atmósfera espesa lo velara parcialmente; el resplandor del centro se debilita, el de los costados aumenta y el cono se prolonga. Continúa en aumento el aspecto difuso, el haz gaseoso se deforma, desaparece la luz del eje y todo indica, al parecer, que la emisión nuclear ha dejado de producirse en este sentido. El núcleo se muestra redondo y brillante. En esta fecha, en un ángulo de posición inclinado sobre el radio vector unos 30 grados hacia el Este, aparecen los primeros rudimentos de un segundo haz, que sucede al anterior; y á medida que estos trazos se hacen más visibles, el haz vaporoso, que al principio se dirigía al Sol, continúa ensanchándose con una curvatura cada vez más pronunciada, hasta el momento en que insensiblemente deformado se reduce á una tenue y dilatada neblina, que apenas si conserva vestigios de su forma y dirección primitivas. En este estado, la envoltura hemisférica que rodea el penacho es más brillante, y se encuentra mejor limitada en la parte correspondiente al radio difuso en vías de dispersión.

» En el espacio de tiempo en que se dispersó el rayo dirigido al Sol, se ha desarrollado progresivamente el nuevo haz, del mismo modo que el anterior, es decir, que el núcleo se alargó poco á poco en forma de cono, desprendiendo partículas gaseosas de todas las regiones de su superficie, las que al lanzarse según la dirección del eje, formaron el nuevo haz, que diez y seis horas después se halla en una fase igual al anterior. En este nuevo rayo pueden seguirse los mismos cambios que presentó el anterior, notándose, sin embargo, que este haz gaseoso alimenta la parte oriental de la envoltura hemisférica y la otra rama de a cola.

Vamos ahora á ocuparnos de unas transformaciones, más singulares aún, del aspecto exterior de las nebulosidades cometarias, y sobre todo, de transformaciones más radicales.

El segundo regreso del cometa de seis años y $\frac{2}{3}$, después de 1826, época de su descubrimiento como cometa periódico, y oncenno regreso después de su primera observación en 1772, se señaló, dijimos, por un suceso memorable: la reaparición del astro, ó su división en dos cometas distintos; veamos algunos detalles históricos.

En 21 de diciembre de 1845 había Encke observado en Berlín el cometa de Biela; Valz lo vió en Marsella el 25 del mismo mes, y ninguno de estos astrónomo-

mos percibió trazas de división. No obstante, el 19 señaló Hind hacia el norte del núcleo una especie de protuberancia; ¿sería ésta el primer indicio de la separación? Sea de ello lo que quiera, parece cierto que tan sólo el 15 de enero de 1846 se vió doble el cometa, en el Observatorio de Washington; en Europa se comprobó la existencia de dos núcleos distintos, quince días antes del paso por el perihelio, en los observatorios de Marsella, Cambridge y Berlín, por los respectivos astrónomos Valz, Challis y Encke.

«El 18 y el 20 de enero, dice Valz, no ofrecía el cometa nada de particular; solamente la condensación luminosa central me pareció más intensa que en las

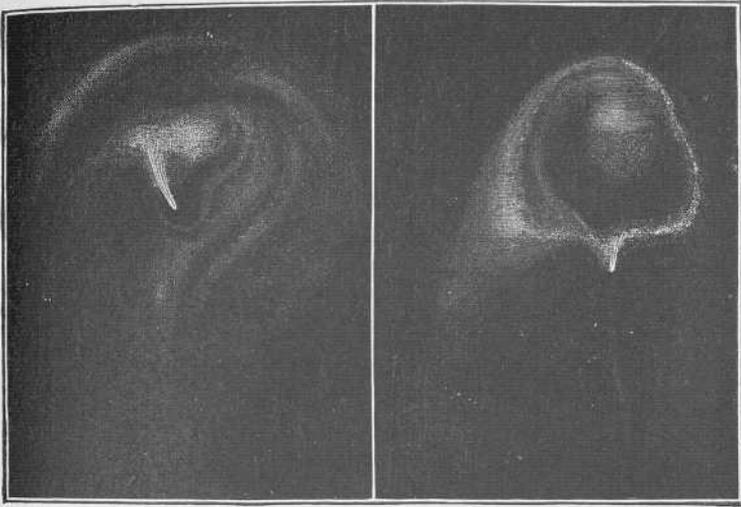


Fig. 13. — Evolución de los penachos del cometa de 1862: 23 de agosto á las nueve de la noche y el 24 á la misma hora

apariciones precedentes. El mal tiempo no me permitió volver á ver el cometa hasta el día 27. Al principio me quedé absorto al encontrar dos nebulosidades con 2' de intervalo, en lugar de una sola..... Ayer, 29, á pesar de las nubes, he observado de nuevo la doble cabeza; la cabeza secundaria es más débil que la otra.» A cada núcleo seguía una cola pequeña, cuya dirección era perpendicular á la línea que unía los centros de los núcleos; ambos tenían igual velocidad y se movían en una misma dirección. El 31 de enero comprobó Hind la rápida separación de los núcleos; un mes escaso después, la distancia de los dos cometas gemelos se había triplicado, siendo, por lo demás, variable de un día á otro el aspecto de cada uno de ellos. Tan pronto brillaba más uno de los núcleos que el otro, por manera que se hacía difícil decir cuál era el cometa principal y cuál el secundario.

La figura 14 da el aspecto y la posición relativa de los núcleos y las colas el 19 de febrero de 1846, según un dibujo del astrónomo ruso Otón Struve. Se ve que entonces no había ningún lazo aparente, ninguna comunicación material

entre los dos astros. «En una palabra, la parte de cielo que los dividía estaba, como dice Humboldt, libre de toda nebulosidad, en el Observatorio de Pulkowa. Pues bien, algunos días después, el teniente Maury observó en Wáshington, con un instrumento dióptrico de Munich, de nueve pulgadas de diámetro, unos rayos que el antiguo cometa enviaba al nuevo; de suerte que durante algún tiempo parecía que de uno á otro había tendido una especie de puente. Disminuyendo de brillo de un modo insensible el pequeño cometa, casi no podía reconocerse el 24 de marzo. El mayor se vió aún por algunos días, hasta que á su vez desapareció el 16 ó 20 de abril.» (*Cosmos.*)

El crecimiento del intervalo aparente de ambos núcleos no probaba, ni mucho menos, una separación real de los dos fragmentos del cometa, puesto que durante las observaciones se acercaba éste á la Tierra; pero el cálculo de las distancias verdaderas lo efectuaron, primero Laugier y luego Plantamour y Arrest, y resulta del cuadro siguiente, debido á este último, que después de haberse alejado hasta el 13 de febrero, volvieron á reunirse progresivamente ambos cometas:

	Leguas
Distancia de los núcleos el 14 de enero de 1846.	71.250
» » 24 » »	75.000
» » 3 de febrero »	77.000
» » 12 » »	77.500
» » 23 » »	77.000
» » 5 de marzo »	76.250
» » 15 » »	72.500
» » 25 » »	69.250

Las variaciones de aspecto y esplendor que presentaron ambos cometas no fueron menos notables que sus variaciones de distancia. Ambos mostraban una condensación luminosa en el centro de su nebulosidad; ambos tenían colas bastante cortas, pero paralelas entre sí. «Mas desde la primera observación, el 13 de enero, en que el nuevo cometa era muy pequeño y débil en comparación del antiguo, su diferencia de brillo y magnitud aparente fué disminuyendo. El 10 de febrero eran casi iguales, si bien la víspera la luz de la Luna sólo permitió la observación del mayor. El 14 y el 16 el nuevo cometa era decididamente más nebuloso que el antiguo, presentando al mismo tiempo un núcleo vivo y brillante como una estrella, comparado por el teniente Maury á un deslumbrador diamante. Desde el día 18 empezó el antiguo cometa á recuperar su superioridad, siendo, poco más ó menos, como dos veces tan brillante como su compañero, y ofreciendo un núcleo estrellado de inusitada vivacidad. Desde este momento se debilitó el nuevo cometa, permaneciendo, empero, visible hasta el 15 de marzo; el 24 apareció como un cometa sencillo, y el 22 de abril habían desaparecido uno y otro.» (Herschel.)

La comunicación luminosa observada por Maury entre los dos astros, y más arriba citada, merece también llamar nuestra atención. Además de la cola propia de cada cometa, vió este observador un arco luminoso que, como el ojo de un puente, se extendía de uno á otro núcleo. Esto tenía lugar en la época en que

el nuevo cometa presentaba su máximo de esplendor; y cuando el antiguo recuperó su superioridad, emitió nuevos rayos que le dieron el aspecto de un cometa de tres colas tenues, que formaban entre sí ángulos de 120° , y de las cuales, una reunía los dos cometas.

Se comprende que los astrónomos prestaran la mayor atención al regreso del cometa de Biela en 1852; en agosto y septiembre de este año, ambos astros, que habían viajado juntos durante una revolución completa, fueron columbrados por el profesor Challis en Cambridge, por el P. Secchi en Roma y por Struve en San Petersburgo. Esta vez los cometas se hallaban, por término medio, ocho veces más distantes que en su paso de 1846, esto es, á 600.000 leguas uno de otro.

Después de esta fecha no se han vuelto á ver, aunque en las épocas de sus repariciones sucesivas en 1859, 1866, 1872, 1879, 1885, 1892 y 1898, emplea-

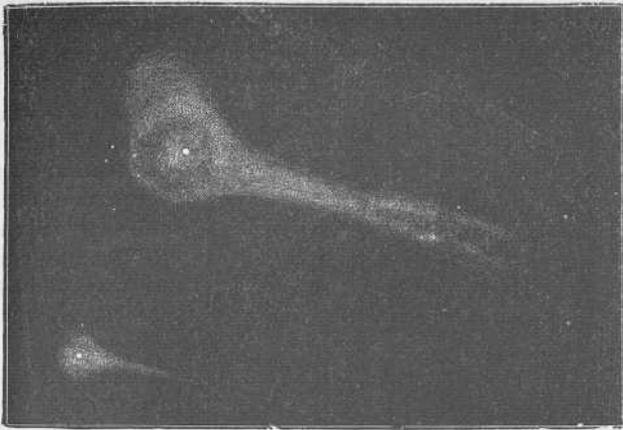


Fig. 14. - Cometa de Biela desdoblado, el 19 de febrero de 1846, según un dibujo de Struve

ron los astrónomos en sus investigaciones los telescopios poderosos de que disponen actualmente. En 1872 debía de hallarse uno de los núcleos tan cerca de la Tierra, como para poder chocar con ella, y en efecto, á este encuentro se debe el espléndido fenómeno presenciado por los observadores europeos en la noche del 27 de noviembre: millares de estrellas fugaces que, como inflamada lluvia, cayeron de los cielos, eran parte integrante de uno de los dos cometas.

La separación del cometa de Biela debía sugerir, y en efecto sugirió inmediatamente, investigaciones históricas sobre los sucesos análogos cuyo recuerdo había transmitido la tradición, pero que hasta aquella fecha se creía oportuno y prudente considerar como dudosos. Entonces se recordó que Demócrito, al decir de Aristóteles, había referido el hecho de un cometa que súbitamente se dividió en un gran número de estrellas pequeñas. Este hecho quizás dió origen á la opinión, sustentada por algunos antiguos filósofos, de que los cometas estaban formados por dos ó más estrellas errantes. Tratando Séneca de refutar esta idea, menciona la relación que hizo el historiador griego Eforo, de la división del cometa del año 371 en dos estrellas; dice así:

«Eforo, que dista mucho de ser un historiador de veracidad irreprochable, á menudo se engaña, á menudo engaña á sus lectores. Este cometa, por ejemplo, sobre el cual todos fijaron los ojos con tanta avidez, á causa de la inmensa catástrofe que produjo su aparición, sumergiendo las ciudades de Bura y Hélice, pretende Eforo que *se dividió en dos estrellas*; nadie más que él da cuenta de este hecho. ¿Quién en efecto, hubiera podido observar el momento en que el cometa se disolvió, se dividió en dos fragmentos? ¿Cómo, por otra parte, si alguien vió desdoblarse el cometa, nadie lo vió formarse de dos estrellas? ¿Por qué Eforo no ha dado el nombre de estas dos estrellas?»

Estos dos últimos argumentos parecen de poca fuerza, mientras que el hecho citado por Eforo no presenta dificultad alguna después de la observación de enero de 1846.

Bajo el consulado de Marco Valerio Masala Barbato y de Sulpicio Quirino, antes de la muerte de Agripa, se vió un cometa durante varios días; parecía como suspendido encima de la ciudad de Roma, resolviéndose en seguida en varias antorchas pequeñas. Este suceso lo refiere Dion Casio.

Según las observaciones de los chinos, recogidas por Biot, aparecieron tres cometas agrupados el año 896, recorriendo juntos su órbita. Finalmente, cita Pingré el pasaje de Nangis que sigue, del que parece resultar que el cometa de 1348 se dividió en varios fragmentos. «Al comenzar la noche, en nuestra presencia, y con gran sorpresa por nuestra parte, se dividió esta gruesa estrella en varios rayos, los que se extendieron sobre París por el lado de Oriente, desapareciendo todos. ¿Era este fenómeno un cometa ú otra estrella, ó bien estaba formado por algunas exhalaciones y se resolvió en seguida en vapor? Esto es lo que abandono al juicio de los astrónomos.»

Puede ser que en los fenómenos de división repentina mencionados por los antiguos autores se haga alguna alusión á los bólidos, ó como dice Pingré, á los meteoros; pero no por esto dejaría de ser el hecho menos curioso, y por lo demás se relacionaría más de lo que en aquella fecha podía creerse con los fenómenos que presentan los mismos cometas, puesto que entre estos cuerpos, los bólidos y las estrellas fugaces existe, según hoy día se cree, un enlace real, y tal vez un origen común. En todo esto no es ya posible considerar que tales cuerpos sean extraños unos á otros.

Esparcidas por las páginas anteriores se encuentran algunas ligeras ideas, que en tiempo oportuno ampliaremos, acerca de los métodos de que se valen los astrónomos para calcular la masa de un astro, la cantidad de materia que contiene, comparada con la del globo solar ó con la de la Tierra, y en una palabra para pesarlo. Los métodos que se emplean, aunque distintos, se apoyan todos en el gran principio de la atracción universal; por ahora sólo nos ocuparemos de los resultados obtenidos y vamos á ver qué es lo que se sabe acerca de las masas cometarias.

Recordaremos que ciertos cometas, al recorrer sus órbitas, se han aproximado á varios planetas, como Júpiter y Saturno, Marte y la Tierra, hasta tal punto, que sus movimientos experimentaron perturbaciones sensibles. Estas, que alteran la forma y las dimensiones de la órbita, se han predicho y calculado con anticipación; y la observación demostró que las aceleraciones ó los retardos asigna-

dos por la teoría eran debidos, como ésta supone, á la acción perturbadora de las masas planetarias. Si las masas de los cometas fueran del mismo orden de magnitud que las de los planetas, hubieran sido sus efectos de igual naturaleza y se habrían comprobado recíprocamente alteraciones sensibles en los movimientos de Júpiter ó de los demás planetas. Nada de esto se ha observado.

Pongamos como ejemplo el cometa de 1770, ó de Lexell, que la atracción poderosa de Júpiter obligó por primera vez á describir una órbita elíptica de período corto, y que por una acción ulterior del mismo astro volvió á enviar para siempre á las profundidades del cielo. No sólo no ejerció el cometa efecto alguno en la masa de Júpiter en las épocas de sus pasos por sus inmediaciones en 1769 y 1779, pero ni siquiera perturbó en lo más mínimo los movimientos de sus cuatro satélites.

Según los cálculos de Burckhardt, atravesó el cometa el sistema de los satélites de Júpiter en 1779, toda vez que se aproximó al planeta á una distancia inferior al radio medio de la órbita del cuarto satélite. Pero de las investigaciones de Le Verrier, publicadas en 1844, resulta que esta distancia fué en realidad, y cuando menos, igual á tres y media veces este radio. Sin embargo, las consecuencias deducidas de la débil masa del cometa de Lexell son siempre muy importantes.

Este mismo cometa pasó en 1770 muy cerca de la Tierra; su menor distancia á nuestro globo llegó á ser igual, en efecto, á $\frac{1}{100}$ del espacio que nos separa del Sol, esto es, unas 600.000 leguas ó casi 6 veces la distancia de la Luna; el cometa de Lexell es de todos los observados, exceptuando el de Biela, el que más se ha aproximado á la Tierra, la cual hubiera debido experimentar una acción sensible, si la masa del cometa hubiese sido comparable á la de nuestro globo. «Suponiendo ambas masas iguales, dice Laplace, la acción del cometa hubiera aumentado en unos 11,612" (centesimales) la duración del año sidéreo. Las numerosas comparaciones de las observaciones efectuadas por Delambre y Burckhardt para construir sus tablas del Sol demuestran que desde 1770 el año no ha aumentado en 3" (2",6 sexagesimales); la masa del cometa no llega, pues, á $\frac{1}{8000}$ de la masa de la Tierra.»

Acabamos de indicar una primera evaluación de las masas cometarias deducidas de las perturbaciones recíprocas que los cometas y planetas ejercen sobre sus movimientos respectivos, la cual demuestra que los cometas parecen tener masas muy débiles, puesto que, perturbados considerablemente en su marcha cuando se aproximan á un planeta, no han indicado jamás un influjo sensible en el movimiento de este último. Pero por el número hallado para la masa del cometa de Lexell, número que en rigor es un máximo, podemos ver cuánto dista de ser exacta una apreciación de Babinet, que consideraba los cometas como una *nada visible*. La 5.000.^a parte del globo terrestre equivale á la 60.^a parte de la masa de la Luna, cantidad que no puede despreciarse por ningún estilo.

Para justificar su expresión apoyábase Babinet en las siguientes consideraciones de óptica; empieza por recordar un hecho exacto y perfectamente comprobado: el de verse estrellas muy débiles á través de las nebulosidades cometarias, sin que su luz pierda nada de su intensidad. Considerando, por ejemplo, el cometa de Encke, que en 1828 tenía el aspecto de una masa nebulosa globu-

lar de 125.000 leguas de diámetro, á través de la cual vió Struve una estrella de undécima magnitud, sin notar ninguna disminución en su brillo, hacía Babinet el siguiente raciocinio: No habiéndose alterado en lo más mínimo la intensidad luminosa de la estrella á causa de la nebulosidad cometaria, claro es que su propia intensidad no era la 60.^a parte de la primera; ahora bien, la atmósfera iluminada por la Luna llena hace desaparecer todas las estrellas inferiores á la 4.^a magnitud, y sin embargo, la luz lunar sólo posee, según Wollaston, un poder de iluminación 800.000 veces menor que el del Sol. Teniendo en consideración también los espesores comparados de la atmósfera y del cometa, deducía el poco afortunado académico, que la densidad de la substancia de un cometa no podía evaluarse en una cantidad tan grande como la de nuestra atmósfera, disminuía por el enorme divisor de *cuarenta y cinco mil millones*. Según esta cuenta, el cometa de Encke sólo pesaría mil y doscientas toneladas.

El mismo método de evaluación de las masas cometarias por consideraciones ópticas, se aplicó también por Babinet al cometa de 1825, llamado cometa del Toro. Este cometa, interpuesto delante de una estrella de 5.^a magnitud, no llegó á hacer variar su esplendor de un modo sensible. La estrella en cuestión no había perdido, pues, ni una mitad de magnitud, ó dicho de otro modo, el quinto de su luz, y por lo menos había conservado las cuatro quintas partes de su esplendor normal; esto no obstante, su luz atravesaba entonces una capa de 2.000 leguas de espesor, es decir, mil veces mayor que el espesor de la atmósfera, suponiendo que la densidad de ésta fuera en toda su extensión igual á la que ofrece en la superficie del suelo. Y como se admite que la luz en su trayecto perpendicular á través de la atmósfera pierde más del cuarto de su intensidad, resulta que la estrella hubiera debido reducirse á una intensidad igual á la fracción $(\frac{3}{4})^{1000}$, si la densidad de la nébula cometaria era comparable á la del aire. Esta densidad es, pues, enormemente menor, y para expresarla, toma Babinet una fracción cuyo numerador es la unidad y su denominador un número superior á la unidad, seguido de 125 ceros. Y dice también: «Cuando Herschel en su última obra sobre astronomía hablaba de algunas onzas para la masa de la cola de un cometa, tropezó, puede decirse, con tantos incrédulos como lectores. Sin embargo, su evaluación es muy exagerada en comparación de la determinación que precede.»

No queremos investigar si los cálculos á que conducen estos métodos ingeniosos están basados en puntos fuera de toda discusión; si la densidad es, en efecto, proporcional al esplendor luminoso; si la substancia de que están formadas las nebulosidades cometarias puede asimilarse á la de los gases que conocemos, ya desde el punto de vista de su composición molecular, ó de sus respectivas propiedades ópticas. Pero, admitiendo la conclusión, sería preciso, en todo caso, reconocer que ésta no puede aplicarse sino al cometa de 1825 y al de Encke, ó todo lo más, á los cometas que no tienen una intensidad luminosa superior á la de estos dos astros. Toda la argumentación de Babinet descansa, en efecto, en la extremada debilidad de las luces cometarias, comparadas con la iluminación de la atmósfera por el Sol, y en el gran espesor de las nebulosidades que atraviesan las luces estelares. Este razonamiento es nulo desde luego, en cuanto á los cometas muy luminosos, por ejemplo, para los que se han visto

en pleno día y á la simple vista; tales fueron, como hemos referido, los cometas del año 43 antes de nuestra era, de los años 1006, 1402, 1532, 1577, 1618, 1744. Tal fué sobre todo el gran cometa de 1843, observado en pleno día en Florencia, á 1° 23' del Sol. El primer cometa de 1847 fué visible en Londres, muy inmediato al Sol. Sin referirse á cometas de tan extraordinario esplendor, ¿no hemos visto el quinto cometa de 1857, el 8 de septiembre, sin que la luz de la Luna haya perjudicado á la observación? No es posible asimilar semejantes astros al cometa de Encke, débil nebulosidad apenas condensada en su centro, la que, sin embargo, estima Faye de alguna consideración, pues dice «que la densidad relativa del núcleo del cometa de Encke debe ser bastante notable, puesto que brilla á la simple vista como una estrella de cuarta magnitud.» ¿Estamos seguros, por otra parte, de que las estrellas observadas á través de las nebulosidades cometarias no hubiesen sufrido alteraciones en su densidad, ó no hubiesen sido quizás eclipsadas, si la ocultación, en vez de verificarse en un punto cualquiera de la nebulosidad, hubiera ocurrido precisamente detrás del núcleo, en la parte más luminosa de la cabeza del cometa? Una ocultación de este género ocurrió en octubre de 1884, en que el núcleo del cometa de Encke pasó por delante de una estrella de 9.^a magnitud, sin debilitarla en lo más mínimo. Según Barnard, que fué el observador, se hubiera podido creer que era la estrella la que pasaba por delante del cometa.

Apoyándose M. Roche, distinguido matemático francés, muerto hace poco, en las observaciones micrométricas que han dado la medida aproximada del diámetro de la nebulosidad de los cometas de Donati y de Encke, obtuvo los resultados que vamos á transcribir.

Relativamente á la masa de la Tierra, sería igual la del cometa de Encke á 0,000047, es decir, casi $\frac{1}{20000}$ parte de la primera, ó 53 veces, poco más ó menos, la masa de la atmósfera terrestre. Evaluada en agua, equivaldría á una esfera de 100 leguas de radio, cuyo peso sería de 268.000 millones de toneladas. Como vemos, de esto á los kilogramos de Babinet va mucha distancia. En cuanto á la densidad, la deduce M. Roche de las medidas del núcleo y de la nebulosidad, que en octubre de 1858 eran, respectivamente, de 4" y de 50" ó de 400 y de 50.000. Admitiendo que la masa haya sido la misma desde junio, fecha de la primera determinación, hasta el mes de octubre, y que la nebulosidad contenga una milésima parte de la masa total, viene á ser la densidad del núcleo como un octavo de la del agua, y la de la nebulosidad como la 154.000.^a parte de la del aire atmosférico.

La masa del cometa de Encke evaluada por el mismo método, sería la milésima parte próximamente de la masa de nuestro globo. «Si bien hallamos, dice M. Roche, para el cometa de Encke una masa muy superior á la que le hubiéramos podido suponer *à priori*, no son inadmisibles estas cifras, y nos parece que no es fácil presentarlas como una objeción á nuestra teoría.»

De los tres métodos que acabamos de revisar y que han podido servir para una aproximación determinada de las masas de los cometas, es más exacto el primero; pero todavía no ha podido suministrarnos sino soluciones negativas del problema, y en número bien escaso; hay que suponer que las masas de los cometas son muy débiles en comparación con las de los planetas; y de la carencia

de toda perturbación causada por aquellos cuerpos, se ha podido deducir un límite inferior y otro superior de este elemento. El segundo método, fundado en consideraciones ópticas, es el más problemático, porque supone que la transparencia está en razón inversa de la densidad, hipótesis por todo extremo gratuita, si se considera que nada sabemos acerca del verdadero estado físico de la substancia de que se componen los cometas. Debe, pues, á nuestro entender, darse la preferencia al tercer método, puesto que éste nos suministra algunos datos más positivos sobre las masas de varios cometas. Pero no hay que ocultar que en este asunto reina aún una gran incertidumbre.

En todo cuanto acabamos de decir, tan sólo hemos tratado de la masa de los cometas; para hablar de su densidad sería preciso establecer una diferencia entre el núcleo sólido ó líquido, cuando se presenta, y la atmósfera ó nebulosidad del cometa. Y á la densidad de estas nébulas, ó á la de las colas, podrían aplicarse tal vez los cálculos de Babinet. La densidad del núcleo se calcularía fácilmente, cierto es, despreciando la masa que lo envuelve, pero para esto sería preciso tener medidas exactas de aquél, lo cual es muy difícil; por otra parte, sabemos que las dimensiones del núcleo varían en un mismo cometa con la distancia al Sol. Su densidad, pues, debe variar según esta distancia y estas dimensiones.

La luz de gran número de cometas presenta una coloración sensible. El cometa del año 146 antes de J. C. tenía un color rojizo, como se prueba por este pasaje de Séneca: «Apareció un cometa tan grande como el Sol; su disco era al principio rojo y como de fuego.»

Más adelante dice también el mismo filósofo: «Los cometas son muy numerosos y de clases diversas; sus dimensiones son desiguales, y su color difiere; unos son rojos, sin resplandores; otros blancos y brillan con luz purísima.... Algunos son de un rojo de sangre, presagio siniestro de la que pronto se derramará.» Así, pues, los antiguos habían observado ciertas diferencias en el color de la luz de los cometas. Y vamos á ver ejemplos numerosos de hechos análogos, extractados de las crónicas de la Edad media y de los registros de los modernos observadores.

Cita Arago los cometas de 662 y de 1526 por haber sido «de un rojo hermoso,» y ya vimos que Plinio, en su clasificación, habla de cometas «cuya melena es de color de sangre.» Tal fué el cometa que apareció en noviembre de 1457; según una antigua crónica, «su cabellera ó su cola imitaba el color de la llama.» «El horrible cometa que, según Comiers, apareció en 1508, era muy rojo, representaba cabezas, humanas, miembros cortados, máquinas de guerra, etc.» El primer cometa del año 1471 «era muy grande, de color rojizo y salía antes del alba.» En 1545 «un cometa, cuya cabellera tenía el color de la sangre, ardió por varios días; habiéndose puesto muy pálido, se desvaneció bien pronto.» Gemma, hablando del cometa de 1556, se expresa así: «Aunque Paulo Fabricio haya escrito que el cometa le pareció pequeño, puedo asegurar que desde el principio de su aparición lo he hallado tan grande como Júpiter; el color del cometa imitaba al de Marte; su tono rojizo degeneró, sin embargo, en palidez.» Se trata aquí, precisamente, del color del núcleo, pues según otro testigo ocular, «el color de la cola, hacia su extremo, fué siempre pálido, lívido, semejante al del

plomo.» Lo contrario se presentó en los cometas de 1577 y de 1618. Tycho, dice, en efecto, que la cabeza del primero era redonda, brillante y notable por cierta blancura plumiza, al paso que la cola, vuelta hacia el Oriente, lanzaba rayos más rojos al lado opuesto al Sol. En cuanto al segundo, dice Arago que su cola parecía de un rojo muy vivo.

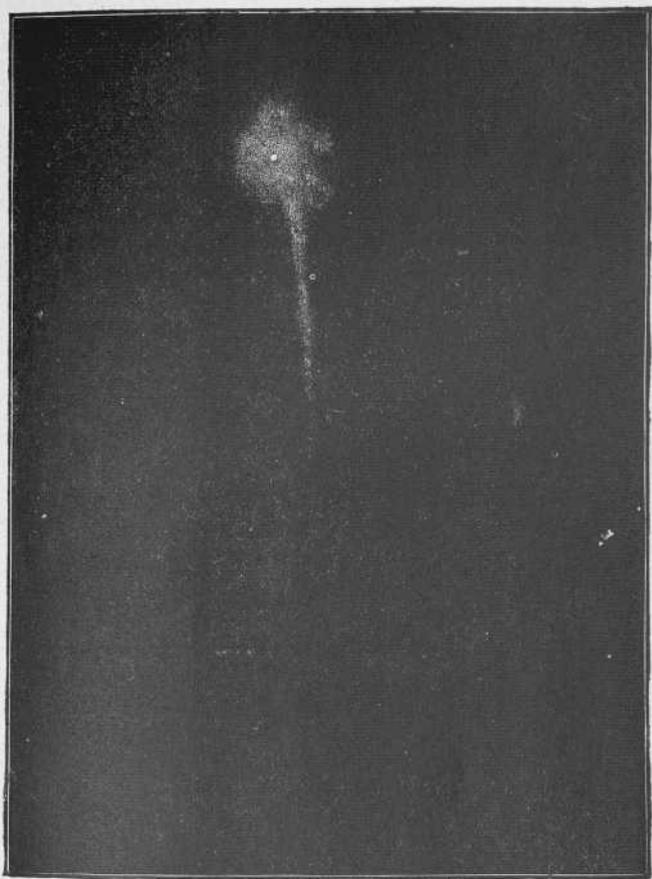


Fig. 15. — El cometa de Coggia el 10 de junio de 1874, dibujo de Rayet.

El cometa de 1769 tenía un núcleo algo rojizo, y también el que observó Herschel en 1811; pero la nebulosidad de este último presentaba un tinte verdoso-azulado, por manera que Arago se pregunta si este color no pudiera deberse simplemente á un efecto de contraste. Cuando menos hay que aceptar que el color del núcleo y el de la atmósfera diferían de un modo sensible. Una zona brillante, estrecha y semicircular, que envolvía la cabeza del cometa de 1811, por el lado del Sol, presentaba una coloración amarillenta muy pronunciada.

También se citan, entre las observaciones antiguas, varios cometas que brillaban con una luz francamente amarilla. Tal fué el cometa de 1555, cuyos rayos resplandecían como el oro; luego el de 1533, cuya cola era de un hermoso color amarillo. Lo mismo se dice del cometa de Halley, cuando su aparición de 1456. «El color del cometa imitaba al del oro.» Es verdad «que en otros tiempos y



Fig. 16. — El cometa de Coggia visto en el telescopio el 22 de junio de 1874, dibujo de Rayet

quizás en otros lugares parecía pálido y blancuzco; á veces parecía una llama centelleante.»

Esta última nota sugiere una reflexión bien natural, y que consiste en preguntarse en qué proporción contribuyen el estado de la atmósfera, su mayor ó menor pureza, la altura del astro sobre el horizonte, á dar á los cometas y á sus colas los colores indicados antes. Parece, por otra parte, indudable que las luces cometarias presentan distintas coloraciones. El gran cometa de 1106 era de una blancura sorprendente. «Colocado hacia la parte del cielo en que se pone

el Sol en el invierno, extendía á lo lejos un rayo blanco, que parecía una tela de lino. Desde el principio de su aparición, tanto el cometa en sí, como su rayo que imitaba la blancura de la nieve, disminuyeron de día en día.» Según otras crónicas, «eran sus rayos más blancos que la leche.» Tropezamos, pues, con un contraste completo de colores, desde el rojo al amarillo y de éste al blanco

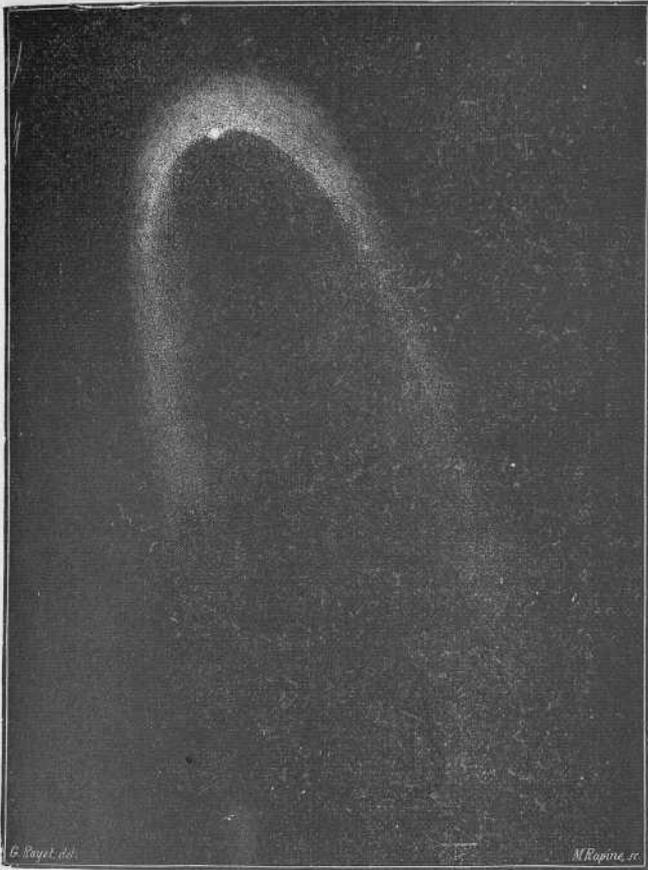


Fig. 17. — El cometa de Coggia el 1.º de julio de 1874, dibujo de Rayet

de plata; otro tanto ocurre con los cometas de que ahora vamos á ocuparnos.

Con fecha de 1217 registra Pingré la nota siguiente: «Se observaron varios prodigios, se vieron cometas azules.» El cometa de 1356, observado en China, tenía un color blanquecino que tiraba ligeramente al azul; el de 1457, cuya cola parecía una lanza muy derecha, tenía «un color lívido y oscuro, imitando al del plomo.» El segundo cometa de 1468 tenía también «un color azul con alguna mezcla de palidez.» El que apareció á fines de 1476 era de un azul pálido, tirando á negro.

Citemos también los dos cometas «terribles y de negruzco color,» cuya aparición de 1456 la mencionan varios autores antes de la de Halley.

Los astrónomos modernos parecen haberse ocupado poco de la coloración de las luces cometarias; sin embargo, en Arago encontramos la siguiente comparación entre la cola del gran cometa de 1813 y la luz zodiacal. «El 19 de



Fig. 18. — El cometa de Coggia el 13 de julio de 1874, dibujo de Rayet

marzo, la cola del cometa, situada al lado casi de la luz zodiacal, era perfectamente blanca, mientras que la de aquélla parecía rojiza, tirando al amarillo.» Nada dice del color del núcleo. Entre las numerosas observaciones del cometa de Donati de 1858, sólo hemos hallado las notas siguientes de su coloración, redactadas por un observador de Neufchatel, M. Jacquet. «El domingo 3 de octubre, después de un día despejado, se observó un espléndido crepúsculo. La línea sinuosa de las montañas, por el lado en que el Sol había desaparecido, se dibujaba sobre un cielo de púrpura y oro. Eran las seis; tratamos de ver si el

cometa, dada la pureza de la atmósfera, sería ya perceptible. Tras algunos momentos de investigación lo descubrimos, excesivamente pálido y pequeño, y siempre de este color blanco plateado que muestra un planeta visto en pleno día.» El 5 de octubre, á la misma hora, era visible el cometa en la proximidad de Arcturo; al fin se disipan las nubes, y percibo una estrella amarilla, y algo á su



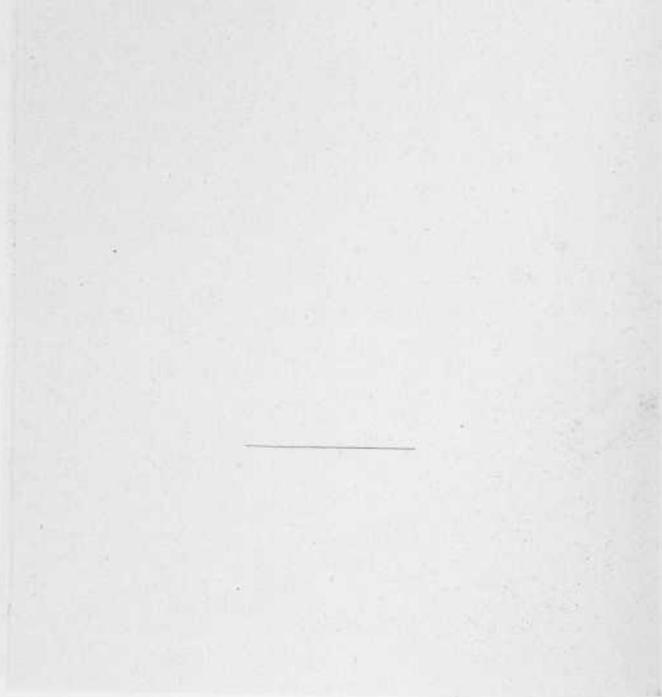
Fig. 19. — El cometa de Coggia el 14 de julio de 1874, dibujo de Rayet

derecha, y debajo, un pequeño penacho blanco. Estos dos colores me llaman la atención: se diría que la estrella es de oro y de plata el penacho.» Evidentemente, se trata aquí del color de la cola y de la envoltura que rodea al núcleo, pues al día siguiente el mismo observador habla de éste, que encuentra «pequeño, vivo y de color rojo amarillento.»

El cometa de Coggia, III de 1874, presentó fenómenos de coloración sensible. Veamos lo que dice sobre este asunto el P. Secchi. «Cuando se examina el cometa con los oculares ordinarios, aparece magnífico. El 9 de julio formaba

un abanico rojizo (por contraste) de 180° próximamente de abertura, de rayos curvilíneos que arrancaban de un núcleo amarillo verdoso.» Vemos que el astrónomo romano considera rojo el color del abanico, como producido por un efecto de contraste. La opinión de Tacchini es muy otra; después de hablar de ciertas particularidades de su espectro, terreno que todavía nos está vedado, agrega: «Esta hermosa banda coloreada sólo se presentaba en el paso del núcleo, el cual, examinado con el ocular ordinario, aparecía de un blanco verdoso, mientras que el abanico era sensiblemente rojo, *aun ocultando el núcleo* por medios artificiales.»

Esta cuestión del color de la luz en las diversas partes que componen un cometa, núcleo, atmósfera y cola, es muy interesante, pues se encuentra ligada á la de su misma naturaleza, como más adelante veremos.



CAPITULO IV

TEORÍAS COMETARIAS

Primeras hipótesis. — Hipótesis modernas.

Echemos una ojeada sobre el contenido de los capítulos que acabamos de leer.

Encontramos en ellos acumulados un gran número de hechos, de observaciones interesantes é instructivas, de fenómenos cuyas variaciones sugieren pensamientos infinitos sobre los astros á que se refieren. Y sin embargo, todos estos hechos no nos permiten responder categóricamente y con seguridad á esta sencilla pregunta: ¿Qué es un cometa?

Hemos dicho una pregunta sencilla. Y lo es en verdad, con gran frecuencia, en el pensamiento del que la formula, si conoce poco las ciencias y sobre todo la astronomía; pero en realidad no hay cuestión más compleja. Para intentar responder, para decir al menos lo que se cree saber de cierto sobre los cometas, para exponer las conjeturas probables sobre los puntos dudosos, hay que proceder con método y dividir las dificultades.

De la misma exposición que se ha hecho en los capítulos precedentes de los fenómenos cometarios, resulta, á nuestro entender, una primera división natural del asunto. Por una parte tenemos los movimientos de los cometas, reales ó aparentes, todo lo que concierne á las órbitas que describen en el seno del éter, en una palabra, las leyes que rigen á los cometas, así en la parte que pudiera llamarse regular de su curso, como en las vicisitudes ó perturbaciones que sufren por parte de los cuerpos celestes extraños. En esto, en teoría á lo menos, no hay dificultad alguna; ninguna sombra en la explicación de los hechos, en la periodicidad de ciertos cometas, en la desaparición de otros, en los retardos y adelantos de los demás, cuyas épocas de regreso pueden conocerse. La gravitación es el principio que da cuenta de todos los hechos y movimientos. La teoría de los cometas, desde este punto de vista, es igual á la de los planetas, y si aún se tropieza con ciertas dificultades y con algunas cosas inexplicadas, no hay en esto motivo de duda para ningún astrónomo digno de este nombre.

Hay, empero, dificultades, como ya hemos visto; verbigracia, nos preguntamos por qué razón la órbita del cometa de Encke se acorta progresivamente en su período. ¿Será por la resistencia del medio ó por la acción de una fuerza repulsiva? Aquí se encuentran divididos los pareceres, pero esto no quebranta el principio de la gravitación en razón de las masas y recíproco al cuadrado de las distancias.

Hay también obscuridades; y en esta clase entra la cuestión del origen de

los cometas. Estos astros no parecen pertenecer todos al sistema solar, puesto que algunos cometas se mueven en hipérbolas. Pero todos vinieron primitivamente del exterior. ¿Formarán, como cree Hoek, grupos ó sistemas, y la conversión en órbitas cerradas de sus órbitas originales se deberá á la acción perturbadora de las masas planetarias? Estas cuestiones no se hallan resueltas todavía; pero cualquiera que sea la respuesta que en su día dé la ciencia, es claro que en nada perjudicarán, según opinión unánime de los astrónomos, á las causas de los movimientos y á sus leyes.

En fin, asimismo hay cosas inexplicadas, como la no reaparición del cometa de 300 años, es decir, el de 1264-1556; como la imposibilidad de volver á ver algunos cometas de período corto, y como, por último, la división del cometa de Biela en dos astros distintos y su desaparición final.

Pero este último fenómeno, por otra parte tan curioso, depende quizás de otra causa y no de un influjo extraño, y en este caso se relacionaría á la segunda clase de los problemas contenidos en el enunciado de la cuestión antes formulada.

¿Qué es, pues, un cometa?

La masa, la densidad, el aspecto físico del núcleo luminoso, de la atmósfera que lo envuelve, de los efluvios que lanza cuando se aproxima el cometa al Sol; las variaciones de forma y de volumen del núcleo y de la nebulosidad; todas estas transformaciones singulares que el telescopio revela, en particular el nacimiento, el desarrollo y la desaparición de las colas; he aquí otros tantos puntos sobre los que no nos faltan datos, sin duda alguna, y bien lo atestiguan los precedentes capítulos, pero al mismo tiempo difíciles de coordinar en un conjunto lógico y de reducir á un principio único, del que pudieran deducirse todas las observaciones como otras tantas consecuencias particulares. Aquí tenemos el indicio de una constitución especial, como hace notar con razón M. Roche, autor de las investigaciones de tanto interés que vamos á analizar ahora. Veamos, por lo demás, en qué términos plantea M. Roche la cuestión que se trata de resolver.

«Lo que caracteriza los cometas, dice, más aún que la forma y posición de sus órbitas, son los cambios que sufren durante el curso de su aparición y que se suceden á veces con asombrosa rapidez. Estos cambios denotan una constitución física peculiar de tales astros, por lo que se distinguen esencialmente de los demás cuerpos celestes. Al paso que el centro de gravedad del cometa describe su trayectoria alrededor del Sol, bajo la influencia de la gravitación solar y de la acción perturbadora de los planetas á que se aproxima, experimenta el mismo cometa, en su figura y dimensiones aparentes, modificaciones profundas en las que no se puede dejar de reconocer la acción del Sol; pues en las inmediaciones del perihelio, sobre todo, es cuando se desarrollan en mayor escala.»

M. Roche divide los fenómenos de que tratamos en dos clases: una se refiere á la cola, á su aparición, á sus diversas y variadas formas, á su brillo y extensión; la otra á las variaciones de forma é intensidad luminosa de las distintas partes que componen la cabeza del cometa. Estos, como hemos visto, son fenómenos de observación reciente, al paso que la formación de las colas se había notado desde mucho tiempo antes. Por este motivo se han dirigido los esfuerzos de los astrónomos á tratar de la explicación de estas colas consideradas como

elemento diferencial ó característico de los cometas. Las hipótesis que estos esfuerzos han originado son muy numerosas, pero pueden reducirse á cuatro principales que vamos á estudiar sucesivamente.

Panetio, filósofo de la antigüedad, creía que los cometas no tenían existencia real y que eran falsas apariencias. «Son, dice, imágenes formadas por la reflexión de los rayos del Sol en la extensión de los cielos.» Para Cardano y otros astrónomos y físicos, como Apiano y Tycho-Brahe en el Renacimiento, y Gergonne y Saigey posteriormente, eran las colas de los cometas puras ilusiones ópticas.

Veamos qué dice Cardano, en su libro titulado *De Subtilitate*, sobre este asunto. «Es, pues, evidente que un cometa es un globo situado en el cielo y hecho visible por la iluminación del Sol; los rayos luminosos que lo atraviesan producen el simulacro de una barba ó de una cola.» Por otra parte, no se encuentra ningún detalle sobre la manera que tienen de producirse estas apariencias, las que, en la idea del médico milanés, eran, sin duda, análogas á los efectos de refracción que determina la convergencia de los rayos luminosos que atraviesan un vidrio lenticular, ó bien la bola llena de agua, de que en otro tiempo se servían algunos artistas para concentrar la luz sobre su obra.

«Pero como han hecho notar Newton y Gregory, dice oportunamente Roche, la luz sólo es visible cuando llega á la retina, y sería preciso, pues, que los rayos solares refringidos por la cabeza del cometa y reunidos detrás de él en un haz convergente, fuesen enviados otra vez hacia la Tierra por corpúsculos materiales. Así se ve algunas veces, al estar el Sol cerca del horizonte oculto por las nubes, que sus rayos, reflejados por las partículas de aire ó de vapor, se dibujan detalladamente en el cielo bajo forma de haces luminosos.»

La idea fundamental en que reposa esta explicación se ha modificado en varias ocasiones desde la fecha de Cardano, cuyo nombre conserva. Nos concretaremos á mencionar en este orden de ideas una Memoria de Gergonne, titulada: *Ensayo analítico sobre la naturaleza de las colas de los cometas*. El origen del fenómeno se considera como puramente óptico; las colas sólo serían una apariencia debida á la porción más iluminada de la atmósfera cometaria, ó con más exactitud, á la superficie cáustica que envuelve á los rayos solares que se refringen al atravesar el núcleo ó las capas inmediatas. Estos rayos se hacen visibles, reflejándose en las partículas que componen la atmósfera del cometa. Pero sería menester en esta teoría que la atmósfera tuviera un radio cuando menos igual á la longitud de la cola, y esto solo constituye una objeción casi insuperable, cuya importancia no desconoce el autor. «No olvidemos, en efecto, que determinados cometas han tenido colas cuya longitud se elevaba á muchas decenas de millones de leguas. Siendo la atmósfera de los cometas, necesariamente, mucho más restringida, habría que suponer que la reflexión tiene lugar en las partículas de un medio interplanetario independiente de los cometas, y que se extiende á distancias superiores en mucho á los límites de la luz zodiacal. Saigey, en su *Física del globo*, admite esta explicación de las colas de los cometas, y según él, también los planetas tienen sus colas *virtuales*, que llegarían á ser reales «si los espacios planetarios estuvieran llenos de una materia análoga á la que acompaña á aquellos astros.»

En esta línea final vemos que Saigey se decide evidentemente por la extensión indefinida de las atmósferas cometarias, dejando subsistente en toda su fuerza la objeción que antes indicamos.

En cuanto á la forma de las colas, á su curvatura, multiplicidad y oscilaciones, las explica así: la curvatura, por un efecto de aberración debido á la velocidad no infinita de la propagación de la luz, pues al hablar de la cola de la Tierra dice que el eje del haz luminoso debe tener matemáticamente la forma de una espiral de Arquímedes, cuyo círculo generador sea 64.000 veces mayor que la órbita terrestre, de tal manera que la porción más brillante de este haz esté ligeramente encorvada hacia la parte posterior del movimiento de traslación del globo. La multiplicidad la explica por la irregularidad de la forma del núcleo, y las oscilaciones, por un movimiento de rotación que conserva las irregularidades en períodos normales.

En este sistema, hoy casi por completo abandonado, parece difícil dar cuenta de las particularidades que hemos descrito detalladamente y cuyo aspecto, variable de hora en hora, revela el telescopio; como son el desarrollo de los penachos luminosos aun delante del núcleo, el de las envolturas, así como la impulsión lateral de la materia luminosa que forma los bordes de la cola. No es menos difícil, por último, explicar la formación de las colas, que á veces se han visto proyectadas hacia el lado mismo del Sol, á menos que, al propio tiempo que se asimilan los cometas á globos diáfanos y refringentes, no se les haga desempeñar también el papel de espejos cóncavos.

Hemos visto que la observación de ocultaciones de estrellas por las atmósferas cometarias no ha permitido comprobar poder alguno refringente en las nebulosidades de la cabeza; por lo tanto, únicamente la refracción en el núcleo podría dar lugar á la formación de cáusticas que á tal distancia nos produjeran el efecto de colas. Y basta sobre una hipótesis que tiene pocas probabilidades de salir del descrédito en que ha caído.

Keplero, que por un instante se dejó seducir por la teoría de Cardano, la abandonó bien pronto, substituyéndola por la acción de los rayos solares. En este sistema las colas cometarias tienen cuerpo y están formadas por materiales tomados del cometa y de su núcleo, ó cuando menos de su nebulosidad. «El Sol, dice Keplero, hiere la masa esférica del astro por rayos directos que penetran en su substancia, arrastrando consigo una parte de esta materia y saliendo más allá ese trozo de luz que llamamos *cola del cometa*. Esta acción de los rayos solares enarece las partículas que componen el cuerpo del cometa, las impulsa y las disipa.»

Hooke, contemporáneo de Newton, para explicar la ascensión de las materias ligeras y tenues que, emanadas del núcleo, van á formar la cola refluendo al lado opuesto al Sol, admite que estas materias ligeras carecen de gravedad y opone su *levitación* á la *gravitación*; según él, tienden á huir del Sol, lo cual se reduce á admitir una fuerza repulsiva, sin decir dónde está su asiento.

La opinión de Keplero fué completada, extendida y modificada. Admitida por Eulero y luego por Laplace, puede considerarse como el punto de partida de la teoría que sostienen muchos astrónomos contemporáneos, entre ellos Faye, según la cual los rayos solares ejercen á distancia una acción repulsiva; en su

forma moderna le consagraremos un párrafo particular, y mientras tanto veamos cómo formulaba Laplace esta hipótesis en la *Exposición del sistema del mundo*.

«Las colas que los cometas arrastran tras sí, parecen formadas de moléculas muy volátiles que el calor del Sol eleva de sus superficies y que la impulsión de sus rayos aleja indefinidamente. Esto resulta de la dirección de estos rastros de vapores, situados siempre más alla de la cabeza de los cometas relativamente al Sol, y que cruzándose á medida que se aproximan estos astros, alcanzan su máximo únicamente después del paso por el perihelio. La extremada debilidad de las moléculas aumenta la relación de las superficies á las masas, y la impulsión de los rayos solares puede hacerse sensible, y hasta obligar á describir á cada molécula, poco más ó menos, una órbita hiperbólica, hallándose el Sol en el foco de la hipérbola conjugada correspondiente. La serie de moléculas que se mueven en estas curvas desde la cabeza del cometa, forma un rastro luminoso opuesto al Sol, y algo inclinado hacia la región que abandona el cometa al avanzar en su órbita, y esto es, en efecto, lo que nos demuestra la observación. La rapidez con que crecen estas colas puede servirnos para juzgar de la celeridad de ascensión de sus moléculas. Se concibe que las diferencias de volatilidad, de grueso y de densidad de las moléculas deben producir modificaciones considerables en las curvas, que describen, lo que es causa de variaciones en la forma, largo y ancho de las colas. Si se combinan estos efectos con los que pueden resultar de un movimiento de rotación de estos astros y con las ilusiones de la paralaje anua, se columbra la razón de los fenómenos singulares que nos presentan sus nebulosidades y sus colas.»

Esta hipótesis, como vemos, admite dos modos de acción de las radiaciones del Sol. La primera, que Keplero indica vagamente, es un efecto de dilatación debido á la actividad calorífica de los rayos solares, efecto á que precede, sin duda, una evaporación en las partes líquidas de la superficie del núcleo. La nebulosidad se hace así más voluminosa, y cada vez más ligeras las capas que la forman. Hasta aquí no se encuentra ninguna dificultad; los efectos físicos conocidos del calor dan cuenta de esta parte de la teoría. Donde empieza la dificultad es cuando hay que admitir que los mismos rayos que han obrado como agentes caloríficos estén asimismo dotados de otra propiedad hasta aquí desconocida: la de determinar un movimiento de avance ó de propulsión de las moléculas reducidas á un estado de tenuidad conveniente. ¿Existe semejante fuerza?

Hace años se supuso por un instante que el *radiómetro* de Crookes podía en realidad indicar esta acción de los rayos solares sobre la materia encerrada en el vacío; pero hoy sabemos que el efecto producido se debe á la pequeña cantidad de aire que contiene el instrumento. Si Crookes hubiese demostrado que el movimiento de su radiómetro se debía realmente al impulso de los rayos del Sol, nos veríamos obligados á aceptar la teoría de Keplero, que abandonada durante dos siglos, se hallaría en este caso muy cerca de la verdad.

Para dar cuenta Newton de la formación de las colas, no supone más causas que la acción ordinaria de los rayos caloríficos de una parte, y de otra la gravitación. Pero si no imagina ninguna fuerza nueva, acepta forzosamente la suposición de que el cometa, durante todo el tiempo del desarrollo de la cola, atraviesa un medio sometido á la gravedad y que se dirige hacia el Sol.

Esta teoría, que primero fué vagamente formulada por Riccioli y luego por Hooke, quien se decidió por una fuerza repulsiva, la aceptaron varios astrónomos del siglo XVIII, el P. Boscowitch, Gregory, Pingré, Delambre, Lalande, etc. A la verdad, Gregory no se satisfizo con la causa que Newton indicó para la ascensión de las colas, y creía también en una actividad propia de los rayos solares, en una impulsión efectiva que se agrega á la fuerza repulsiva aparente, y su sistema parece ser una combinación de los dos que acabamos de exponer.

A la teoría de Newton se han hecho diversas objeciones de importancia. La existencia de un medio resistente que grave hacia el Sol, de una atmósfera solar, en una palabra, ha de hallarse necesariamente limitada á cierta distancia del foco de nuestro mundo. Laplace ha probado que esta atmósfera, para subsistir, debe estar animada de un movimiento de circulación, y que tiene por límite la distancia en donde la fuerza centrífuga, originada por este movimiento, es igual á la de la gravedad. En el plano del ecuador solar viene á ser este límite los 17 centésimos de la distancia media de la Tierra; corresponde al radio de la órbita de un planeta cuya revolución, de igual período que la rotación solar, se efectuase, por lo tanto, en veinticinco días y medio. Ahora bien, los cometas presentan sus hermosas colas mucho antes de llegar á tan corta distancia del Sol; se han visto algunas, de extensión considerable, en cometas cuya distancia perihelia superaba al radio de la órbita terrestre, radio que viene á ser, poco más ó menos, unas seis veces mayor que la distancia límite.

Por otra parte, este medio dotado de gravedad sería también un medio resistente; además de la acción perturbadora que ejercería esta resistencia sobre la cabeza del cometa y la órbita del astro, obraría con mucha mayor intensidad sobre las colas en razón de su rareza misma. Antes del paso por el perihelio, en la primera parte del movimiento, la curvatura y la impulsión de la cola hacia atrás se explicarían naturalmente por esta resistencia; pero después del paso por el perihelio continúa la cola afectando la misma posición relativamente al radio vector que une el núcleo al Sol, de suerte que parece que el astro mueve su cola hacia adelante de su propio movimiento, fenómeno incompatible con la hipótesis de un medio resistente. También se ha asimilado el medio de que hablamos á la luz zodiacal, y Mairán, que explicaba de esta suerte las auroras boreales terrestres, veía asimismo en esta luz la causa ú origen de producción de las colas de los cometas. Pero las objeciones precedentes, y otras que sería muy largo desarrollar, se oponen á esta nueva hipótesis.

Que la causa que determina la producción de las colas y su desarrollo tan rápido é inmenso á la vez, sea una fuerza *sui generis* ó una fuerza aparente, lo cierto es que presenta todos los caracteres de una acción repulsiva. El calor, la impulsión de los rayos solares, la gravedad, se han combinado de diverso modo para esta explicación; también se ha hecho entrar en juego la fuerza eléctrica ó magnética.

Olbers, Herschel y Bessel abordaron sucesivamente el problema desde este punto de vista. Analicemos rápidamente las opiniones de estos ilustres astrónomos.

El cometa de 1811 provocó las meditaciones de Olbers. «Este astrónomo, dice M. Roche, atribuye á la proximidad del cometa al Sol un desarrollo de

electricidad en ambos astros; de aquí nace una acción repulsiva del Sol y otra acción repulsiva del cometa sobre la nebulosidad que lo rodea.» Con la primera de estas fuerzas explica Olbers la formación y el desarrollo de las colas; y por la segunda da cuenta de la formación de los sectores luminosos ó penachos, y también de las envolturas sucesivas, semejantes á las del cometa de Donati. Biot prestó su adhesión á esta hipótesis.

La idea de Herschel viene á ser casi igual. «No es improbable, dice, que el Sol se encuentre cargado siempre de electricidad positiva; cuando se aproxima el cometa y su substancia se vaporiza, la separación de las dos electricidades se opera, el núcleo se hace negativo y la cola positiva. Desde este instante la electricidad del Sol dirigirá el movimiento de la cola, como un cuerpo electrizado obra sobre otro no conductor, electrizado por influencia.»

Liais, en su libro titulado *El Espacio Celeste*, se muestra partidario de la existencia de una fuerza repulsiva de naturaleza eléctrica; según este astrónomo, la acción calorífica de los rayos solares modifica el estado molecular físico y químico del núcleo, y da origen á ambas clases de electricidad; una de ellas se desarrolla en el núcleo, mientras que las partes más tenues y ligeras de la cabecera se cargan de la de signo contrario, transportándola hasta los límites de la atmósfera cometaria. También el Sol, por su parte, se encuentra constantemente en un estado de tensión eléctrica muy enérgico; de las dos clases de electricidad que posee, la más poderosa atraerá el núcleo, por ejemplo, si éste está cargado de fluido contrario, y repelerá las moléculas de la atmósfera electrizada, que lleva el mismo signo. Obrando esta repulsión sobre la parte de atmósfera que presenta ya cierta tendencia á alejarse del Sol, formará una primera cola, casi directamente opuesta al radio vector, y al obrar sobre las moléculas anteriores, que tendrá que repeler hacia atrás, formará una segunda cola.

En el cometa de 1861 se vió muy bien esta segunda cola, y según Liais, debe existir en todos los cometas; pero no se perciben con claridad, á menos de ser muy largas ó cuando por encontrarse la Tierra en su plano común, que es el de la órbita, se proyectan en perspectiva una sobre otra.

Lo que antecede bastará para que se comprenda en conjunto este último sistema, que no difiere esencialmente de los de Olbers y Herschel.

En una *Memoria sobre la constitución física del cometa de Halley*, formuló el ilustre Bessel una teoría que difiere algo de la eléctrica. Su objeto principal era dar una explicación del curioso fenómeno de las oscilaciones de los penachos luminosos observados en 1835, que posteriormente se reprodujo en el cometa de 1862. Compara Bessel el eje del cometa á un imán inmenso, cuyos polos ó extremos se dirigen al Sol, el uno, mientras que el otro tiende á alejarse; las oscilaciones observadas resultan de las desigualdades y faltas de equilibrio, el que se rompe y restablece bajo el influjo de las fuerzas internas y de la fuerza polar emanada del Sol; esta última, en su parte ó acción respectiva, tiende á formar la cola. M. Roche juzga esta teoría insostenible y muy complicada.

Ahora vamos á exponer, del modo más concreto que nos sea posible, los trabajos del distinguido profesor de Mompeller, M. Roche, sobre los fenómenos que tienen lugar en el interior de las masas cometarias, alrededor de sus núcleos, y á distancia de las nebulosidades y las colas.

Principia M. Roche por reducir los datos del problema á su forma más sencilla, asemejando el cometa á una masa enteramente fluida, homogénea y sin movimiento de rotación. Las fuerzas que la solicitan son la atracción mutua de sus propias moléculas y la gravitación hacia el Sol; para que una masa semejante permanezca en equilibrio sometida á estas fuerzas, es necesario que tenga la figura de un elipsoide cuyo centro sea el mismo centro de gravedad ó de revolución respecto del radio vector tirado desde el Sol, con el cual coincide el eje mayor. Introduciendo entonces el movimiento del cometa hacia el Sol, examina el autor las modificaciones que produce en la forma de su atmósfera la disminución de la distancia, sin considerar más que la atracción mutua de ambos cuerpos celestes. Esférica al principio su forma, cuando el cometa se halla muy lejos, va haciéndose progresivamente elíptica á medida que el cuerpo se aproxima al Sol, si bien hay un límite para esta distancia, que depende de la densidad del fluido de que se compone la atmósfera cometaria.

Supone también M. Roche que puede haber, entre el inmenso número de cometas del mundo solar, alguno que se ajuste á las condiciones de esta primera hipótesis; pero le parece que lo más común será que el núcleo central se encuentre rodeado por una atmósfera mucho más rara, sostenida por la fuerza de gravedad, como las atmósferas de todos los cuerpos celestes. Estudiando con esmero los fenómenos que se desarrollan en un cometa cuando se aproxima al Sol, se observa que dependen, en parte á lo menos, de la acción de la gravedad solar. Las diferencias de las atracciones que el Sol ejerce sobre la parte de atmósfera cometaria más inmediata y sobre la más distante, deben producir cierta prolongación del cometa según la dirección del Sol, más pronunciada mientras menor sea la distancia. En una palabra, la causa de las mareas terrestres debe aquí manifestarse de un modo análogo, si bien en proporciones mucho más vastas, en la proximidad del perihelio.

M. Roche llama á su hipótesis *teoría de las mareas cometarias*, y sólo se apoya en la gravitación y en el calor; á poco de publicar una de sus primeras Memorias, vino el cometa de Donati á llamar la atención de los astrónomos, por los fenómenos singulares que reveló la observación de la estructura del núcleo, de la nebulosidad y de la cola; Faye aconsejó á M. Roche que introdujera en su análisis la hipótesis de una fuerza repulsiva real, inherente á los rayos solares, como había supuesto Keplero, con cuyo artificio resultaba que la forma de las capas de nivel dejaba de ser simétrica respecto del núcleo cometario, como en efecto manifiestan las observaciones.

M. Faye estudió el asunto desde el punto de vista físico, escogiendo de entre todas las teorías que hemos mencionado, la que más se conformaba con las observaciones, decidiéndose, por último, por una fuerza repulsiva real, propia de los rayos solares, que es la base de la teoría conocida con el nombre de teoría de Keplero, á la que Euler y Laplace prestaron su asentimiento. Dice Faye que esta fuerza repulsiva nace del calor, y por su medio produce este agente efectos mecánicos; depende de la superficie y no de la masa del cuerpo incandescente, y su acción sobre un cuerpo está en razón de la superficie de este cuerpo y no de su masa; no se propaga instantáneamente como la fuerza atractiva de Newton, ni obra á través de la materia como la atracción. Admite que su intensidad

decrece en razón inversa del cuadrado de la distancia y que su velocidad de propagación es igual á la de los rayos caloríficos y luminosos.

Para explicar la formación de las colas simples ó múltiples, su curvatura y dirección y los sectores luminosos ú oscuros, presenta Faye las explicaciones siguientes. La acción de la fuerza repulsiva sobre un cuerpo en movimiento alrededor del Sol, no coincide con el radio vector, sino que se ejerce siempre en el plano de la órbita, de suerte que la figura que tiende á imprimir á un cuerpo primitivamente esférico, como un cometa muy distante del Sol, debe ser simétrica respecto de este plano. En segundo lugar, hallándose esta fuerza en razón de las superficies, los efectos que produzca dependen de la densidad de las materias que componen el cometa, de lo cual se deduce que, salvo el caso particular en que estas substancias sean completamente homogéneas, deben formarse varias colas producidas por la fuerza repulsiva. Pero los ejes de estas colas múltiples, que son tanto más largas cuanto menor es su curvatura, deben hallarse siempre situados en el plano de la órbita, como en el caso de una cola única.

Según la generación mecánica de estos apéndices, cuya materia se encuentra en un estado de división, de tenuidad y de independencia molecular de que es difícil formarse idea, cada cola, en su porción regular, debe ofrecer una curvatura simple en la parte posterior del movimiento del núcleo; esta curvatura, débil para las materias específicamente más ligeras, es más considerable para las dotadas de mayor densidad. En cuanto á la forma propia de una cola cualquiera, hay que considerarla como la envoltura de las materias de igual densidad, que sucesivamente abandonan la cabeza del cometa, bajo la triple influencia de la fuerza repulsiva, de la atracción solar y de la velocidad general, á la que sería preciso agregar también, como hace Bessel, la escasa velocidad propia de la emisión nuclear. Si en un instante dado se considera el conjunto de las moléculas lanzadas de esta suerte de la estrecha esfera de atracción del cometa, se las hallará distribuidas, principalmente en el contorno de una sección, circular casi, de la nebulosidad; y si sigue esta misma serie de moléculas durante los instantes sucesivos, se verá que por efecto de sus movimientos en trayectorias independientes, deben ocupar arcos cada vez mayores, cuya sección se prolongará en el sentido del plano de la órbita, mientras que el diámetro transversal crece en menor proporción. Por este motivo se extenderán las colas principalmente en el plano de la órbita, sobre todo las colas más encorvadas; pero considerándolas por el canto, parecerán rectas, y más brillantes en los bordes que en el centro. Si hay varias colas, parecerá que todas se proyectan unas sobre otras en el momento en que la Tierra atraviese el plano de la órbita, y como distan mucho de ser opacas, se verán las colas más estrechas dibujadas en medio de la banda más ancha y más próxima al observador. Es menester, sin duda, que la Tierra haya pasado ya por el plano de la órbita, para que puedan distinguirse las colas múltiples una á una.

De este modo da cuenta Faye del nacimiento y desarrollo de las colas y de las varias apariencias que ofrecen los apéndices cometarios. Esta teoría, en conjunto, es en verdad bastante satisfactoria, pero no nos atreveríamos á asegurar que ante los complejos y variados hechos que tan minuciosamente hemos descrito, no puedan formularse serias objeciones. Para presentar un solo ejemplo,

nos bastará señalar la dificultad de explicar el aspecto de la cola múltiple, en forma de abanico, del gran cometa de 1861, el 30 de junio, día en que la Tierra pasó precisamente por el plano de la órbita; en esta situación debían aparecer las colas múltiples proyectadas unas sobre otras, según la teoría, lo cual distó mucho de ser así.

En cuanto á las emisiones del núcleo, á los sectores y penachos y á las envolturas luminosas, se explican por la sola consideración de las fuerzas atractivas en unión con el influjo creciente de las radiaciones solares caloríficas. M. Faye acepta en este punto las teorías de Roche y considera que las figuras teóricas ideadas por este último representan con gran fidelidad los fenómenos reales.

El eminente físico inglés Tyndall formuló una nueva teoría que puede concretarse á los puntos siguientes:

Un cometa es un conjunto de vapor que la luz del Sol puede descomponer; la cabeza y la cola visibles son nubes actínicas que resultan de esta descomposición; la contextura de las nubes actínicas es la revelación de la de un cometa.

La cola, según esta teoría, no es una materia proyectada, sino una materia precipitada sobre los rayos solares, que atraviesan la atmósfera del cometa. Se demuestra experimentalmente que este precipitado puede producirse con lentitud relativa á lo largo del rayo, ó bien formarse en un instante indivisible en toda la longitud del rayo. La sorprendente rapidez del desarrollo de la cola, se explicaría de esta suerte, sin invocar el increíble movimiento de traslación admitido hasta aquí.

Cuando un cometa gira en torno de su perihelio no se compone la cola, en totalidad, de la misma materia, sino de nueva materia precipitada por los rayos solares que atraviesan la atmósfera del cometa en sus nuevas direcciones. Así se explica la extraordinaria vibración de la cola sin acudir tampoco á un movimiento de traslación.

La cola se encuentra siempre al lado contrario al Sol, por esta razón: dos fuerzas antagonistas obran á la vez sobre el vapor cometario; una, la *fuerza actínica*, que tiende á producir el precipitado; otra, la *fuerza calorífica*, que tiende á producir la evaporación. Si la primera es más poderosa, se obtiene la nube cometaria; si lo es la segunda, el vapor cometario transparente. Es un hecho que el Sol hace obrar estos dos agentes, y nada hay de hipotético en suponer su existencia. Para que el precipitado tenga lugar detrás de la cabeza del cometa, ó en el espacio ocupado por la sombra de la cabeza, tan sólo es necesario admitir que los rayos caloríficos del Sol sean absorbidos con mayor abundancia por la cabeza y el núcleo que los rayos actínicos.

Cuando la cola primitiva deja de estar resguardada por el núcleo, la disipa el calor solar, sin que esta disipación sea instantánea. En el combate entre las dos clases de rayos, una ventaja pasajera, debida á las variaciones de densidad ó á cualquiera otra causa actínica, puede obtenerse por los rayos actínicos, aun en las porciones de la atmósfera cometaria que no se encuentran resguardadas por el núcleo. De esta suerte se explican las corrientes laterales y la emisión aparente hacia el Sol de las colas débiles.

En la reciente teoría mecánica de los cometas, se supone que salen del Sol

radiaciones de materia muy tenue, de materia de la corona, en todas direcciones, penetrando en el espacio celeste á grandes profundidades, y á veces cruzándose entre sí. Al chocar la atmósfera de los cometas con estas corrientes, afectará en proyección la forma de arcos luminosos, casi concéntricos, alcanzando su mayor brillo en la parte más avanzada de cada estrato. Cuando las radiaciones coronales sean varias, se producirán en el cometa colas múltiples, cuyos ángulos de desviación serán función de las velocidades de las radiaciones, y las inclinaciones, de las que éstas posean. Cuando la cola se dirige hacia el Sol y no al lado opuesto, como es lo general, se supone que la radiación de materia coronal tiene menor velocidad que el cometa que se aleja.

Después de los notables trabajos de Maxwel sobre la teoría electro-magnética de la luz, se han efectuado experimentos de laboratorio, con auxilio de los rayos X, para reproducir algunos de los fenómenos que ofrecen á nuestra vista los cometas; se supone por algunos físicos que los cuerpos calentados con los rayos catódicos emiten proyecciones de éter, que tienen á su vez la propiedad de arrastrar consigo moléculas de los gases, en un estado de rarefacción semejante al que se obtiene en las ampollas de Crookes; al partir del Sol esta especie de viento etéreo, y encontrar un gas radiante como el que forma el cuerpo de los cometas, lo arrastraría consigo, transportándolo por el espacio á largas distancias y dando lugar á la formación de las colas. Hay que tener en cuenta que las moléculas materiales arrastradas así, adquieren una velocidad prodigiosa, muy superior á la normal de las moléculas gaseosas ordinarias; de manera que así se explicaría la luz de los cometas y de otros cuerpos celestes, que parecen incandescentes, y cuya temperatura, sin embargo, es la del cero absoluto. Valiéndose de los rayos catódicos ha conseguido el Sr. Goldstein, de Berlín, reproducir experimentalmente la radiación de la luz del núcleo y el desarrollo de la cola, explicándose satisfactoriamente muchas de las particularidades que ofrecen los fenómenos cometarios.

Indicamos en alguno de los párrafos anteriores que también se admitía la teoría de que un cometa fuera un enjambre de meteoritos, teoría muy plausible, puesto que, según ella, el fin de un cometa sería la desintegración, y de esto hemos presentado antes varios ejemplos, como el del cometa de Biela. El señor Callandreau, que ha estudiado á fondo esta teoría, defendida principalmente por Schiaparelli y Bredichiu, ha calculado de un modo general el influjo que la trayectoria descrita por la cabeza de los cometas de período corto, en la proximidad de Júpiter, tiene sobre la desintegración. Asimismo determinó la extensión de la esfera de estabilidad en diferentes puntos de la órbita, llevando en cuenta, no sólo la atracción del Sol, sino también la de Júpiter. Trata el asunto desde un punto de vista exclusivamente dinámico, sin tener en cuenta el influjo de las radiaciones térmicas del Sol, ni su aparente fuerza repulsiva sobre la materia cometaria, considerando que un cometa es como un enjambre esférico de partículas, de densidad uniforme, ó que á lo sumo varía con relación á las distancias al centro. Algunos estudios especiales han sugerido á M. Callandreau la idea de que la desintegración se favorece con la forma elíptica de las órbitas, la aproximación á Júpiter y la pequeña velocidad relativa.

Las teorías de M. Callandreau explican de un modo bastante satisfactorio

los fenómenos extraordinarios del cometa de Biela, que antes relatamos, y los que presentaron los de 1882 y 1889; este último, principalmente, es un caso típico, pues aparecía acompañado como por satélites cometarios, que cortaban la órbita del primario cerca de su afelio.

Cuando tratemos del análisis espectral de los cometas, expondremos algunas otras consideraciones pertinentes al asunto, que ahora serían prematuras.

CAPITULO V

LAS ESTRELLAS FUGACES

Descripción, aspecto y clasificación de las estrellas fugaces. — Teoría de las estrellas fugaces. — Bólidos: su aspecto; altura de la atmósfera deducida de la aparición de estos meteoros. — Uranolitos, su aspecto y composición química. — Caídas de uranolitos famosos. — Consideraciones sobre la teoría de las estrellas fugaces, los bólidos y los uranolitos.

Seguramente que no habrá lector de ASTRONOMÍA POPULAR que en alguna noche tranquila y despejada haya dejado de observar la caída aparente de una de las estrellas del firmamento; y si ha observado con mediana atención, habrá visto caer, cuando menos, de tres á cuatro estrellas por hora, número que en determinadas circunstancias puede elevarse á muchos millares. Pero ¿se desprenden, en efecto, las estrellas fijas de su empíreo asiento? Así lo creyeron algunos filósofos de la antigüedad, opinión que aún profesa el vulgo.

Por lo general, la aparición del fenómeno es instantánea, dura un segundo ó dos, y desaparece con la misma rapidez, dejando en ocasiones un rastro luminoso que pronto se desvanece; el curso de las estrellas fugaces es rectilíneo, y rectilínea también la estela luminosa que dejan en el cielo (figura 21); otras veces es curvo su rastro, más ó menos brillante y de duración variable (fig. 22); presentan algunos en toda su longitud una anchura uniforme, otros se adelgazan al principio, y los más afectan la forma de un huso ó de una verdadera cola, más ancha por el extremo opuesto á la estrella, del mismo modo que el rastro ó estela de un cohete de artificio cuando se extiende por la atmósfera. También se ha observado que, aunque la dirección general de las estrellas fugaces es rectilínea y de arriba abajo, otras cruzan el cielo horizontalmente, y las menos describen líneas sinuosas de diversas curvaturas (fig. 23), formas que también afectan los rastros. Las estrellas fugaces son pequeñas, y pocas llegan á presentar un brillo de primera magnitud; las hay, sin embargo, tan resplandecientes como Venus y Júpiter, y entonces se llaman *bólidos*, siendo visibles hasta en pleno día. Según que la ciencia ha ido progresando, y según también las teorías é ideas particulares de los astrónomos, han recibido las estrellas fugaces diversos nombres: se les llama ó se les ha llamado *meteoros*, *estrellas errantes*, *meteoritos*, *globos de fuego*, *bólidos*, *aerolitos*, *meteoroides*, *estrellas que caen*, *pedras meteóricas*, *pedras de rayo*, *meteorolitos* y *asteroides*. El nombre que más se usa es el de estrellas fugaces y es también corriente el de aerolitos; el más propio sería el de *uranolitos*, como propuso el P. Secchi.

Aunque el número de estrellas fugaces visibles en una noche es muy variable, á veces se presentan en tanta cantidad, que constituyen verdaderas lluvias de fuego. Estas apariciones, por el terror que inspiraron á los pueblos que creían

cercano el fin del mundo, se encuentran consignadas en las crónicas y anales de los antiguos.

Una de las primeras menciones que de este fenómeno hallamos es la que refiere el historiador bizantino Teófanos, quien cuenta que en el mes de noviembre de 472 se inflamó el cielo de Constantinopla, según eran frecuentes las apariciones de *estrellas de fuego que corrían*. Al hablar Conde en su *Historia de la dominación de los árabes en España*, tomo I, pág. 307, dice que «en la luna dilcada de este año (901) murió el rey Ibrahim-Ben-Ahmed, y aquella noche se

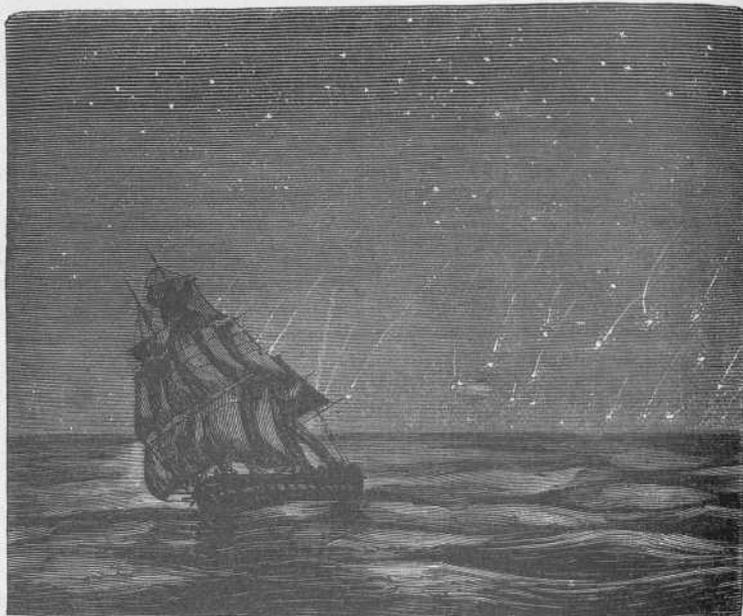


Fig. 20. — Lluvia de estrellas

vieron como lanzadas infinitas estrellas que se esparcieron como lluvia á derecha é izquierda, y se llamó este año el de las estrellas.»

En una crónica árabe del siglo XIII se lee: «En el año 599, el último día de Moharrem (19 de octubre de 1202), corrieron las estrellas acá y allá y unas contra otras como un enjambre de langostas; este prodigio duró hasta el alba; el pueblo se consternó, dirigiendo sus oraciones al Alto y Poderoso; jamás se vió cosa igual, excepto cuando vino el mensajero de Dios, sobre el cual sean paz y bendiciones.»

También se habla de otra manifestación del mismo fenómeno, que tuvo lugar en Francia y en Inglaterra el 4 de abril de 1095: «las estrellas caían como un aguacero, de los cielos á la tierra,» y un testigo ocular, habiendo observado el paraje en que cayó un aerolito, «le echó agua que levantó vapor, produciéndose un ruido como de hervidero.» En la *Crónica de Reims* leemos que las

estrellas del cielo fueron impulsadas como el polvo por el viento, y Rastel dice «que, según relato de la gente baja, en tiempo de este rey (Guillermo II) se vieron grandes maravillas; y por lo tanto dijeron al rey algunos de sus privados que Dios no estaba satisfecho con su gobierno, de cuya advertencia no hizo caso por su orgullo y maldad grande.»

Las lluvias ó enjambres de estrellas fugaces más conocidas son las de agosto y noviembre á causa de su periodicidad; el 10 de agosto precisamente es el día de San Lorenzo, y mucho antes de que los sabios se ocupasen de esta materia, llamaba el católico pueblo de Irlanda á las estrellas fugaces de esta época *lágrimas de San Lorenzo*. En 1799, en la noche del 12 de noviembre, observaron Humboldt y Bonpland, en la cordillera de los Andes, otra espléndida lluvia de fuego, que según describe el primero de estos observadores, comenzó poco antes de las dos de la madrugada, dirigiéndose los meteoros hacia el Sur. Por no prolongar bastante la observación, ó por otra causa cualquiera, dejó de notar el observador que las líneas descritas por los me-

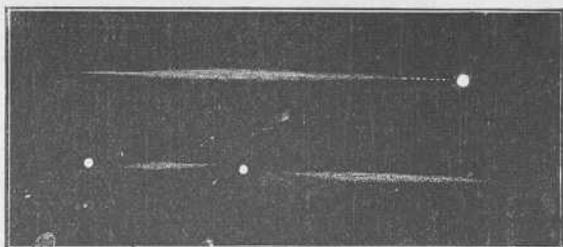


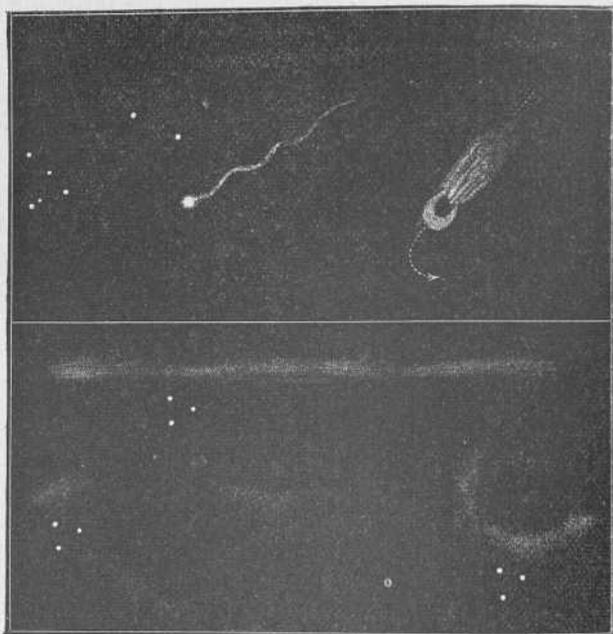
Fig. 21. — Estrellas fugaces de trayectoria rectilínea y fusiforme

eteoros concurrían todas al mismo punto del cielo, perdiendo de esta suerte el descubrimiento de la causa real del fenómeno.

Otra gran lluvia tuvo lugar en los Estados Unidos en el año 1833, y según dice Newcomb, los negros de los condados del Sur, como los árabes de los siglos anteriores, creyeron que se aproximaba el fin del mundo. Refiriéndose á esta misma aparición, dice Arago que los meteoros eran tan numerosos y brillantes, que en algunos parajes se vieron á las ocho de la mañana del día 13, cuando el Sol se hallaba ya sobre el horizonte, y en tal cantidad, que era imposible contarlos. El Sr. Olmsted, de Boston, los comparaba por su frecuencia en el momento del máximo, á la mitad del número de copos de nieve que se perciben en el aire cuando nieva con abundancia. Cuando el fenómeno decreció, se pudieron contar 650 estrellas en 15 minutos, y para eso sus observaciones se circunscribieron á una zona que no comprendía sino la décima parte de la bóveda celeste, de modo que para todo el hemisferio visible hubieran debido contarse 8.660, cifra que da por hora 34.640 estrellas; y como el fenómeno duró 7 horas próximamente, el número total pasa de 240.000, pues como hemos dicho, las bases del cálculo se obtuvieron en un momento en que el fenómeno había decrecido considerablemente.

El 27 de noviembre de 1872 ocurrió otra lluvia notable de estrellas fugaces, de seis horas de la tarde á media noche, en cuyo espacio de tiempo se estima que aparecieron 160.000, según las observaciones efectuadas en España, Francia é Italia. El mismo fenómeno se repitió en igual fecha de 1885, contando un observador, en Praga, hasta 14.000 estrellas en el intervalo de una hora.

Fuera parte de estas circunstancias particulares, el número de meteoros visibles en una hora viene á ser de 5 á 6 ó de 7 á 8, según diversos observadores. Este número, independientemente del fenómeno en sí, está subordinado á varias causas extrañas, como la mayor ó menor pureza del aire en diversas épocas del año, la distinta duración de las noches en el verano y en el invierno, el brillo de la Luna según que ésta esté llena ó en cuadratura, etc. Además, el profesor americano Newton, que con particular diligencia se ocupa del estudio de estos fenómenos, asegura que doce observadores ven individualmente más meteoros que uno solo, y calcula que en un horizonte dado, el número horario de estrellas



Figs. 22 y 23.— Estrellas fugaces de rastro curvilíneo.
Cambios de forma de un rastro

se eleva á 30; pero como, por otra parte, es evidente que cada horizonte sólo abraza un cono de visibilidad muy inferior al espacio celeste que sobre él se extiende, y como el espesor de las capas aéreas oculta un gran número de meteoros, ha calculado que serían necesarias 10.000 estaciones ú observatorios distribuidos por toda la haz de la Tierra, para registrar el número total de estrellas que apareciesen; número que, por término medio, y no contando más que los meteoros visibles á la simple vista, se elevaría á 30.000 por hora ó 260 millones por año. Otro profesor, americano también, el Sr. Herrick, fundándose en las mismas hipótesis que su compatriota, estima que el número total de estrellas fugaces visibles en toda la atmósfera en un día, es, sin duda, superior á 2 millones esto es, el triple de lo que calcula Newton. Pero como hasta aquí sólo se trata,

de meteoros visibles á la simple vista, y este mismo astrónomo, valiéndose de un pequeño antejo, ha percibido muchas estrellas que, sin tal auxilio, hubieran sido invisibles, siendo su número unas 250 veces superior al de las otras, vemos que hay que contar esos meteoros por millones en cada hora de tiempo, y por miles de millones en el curso del año.

¿Podemos considerar los aerolitos, bólidos y estrellas fugaces como distintas manifestaciones de un mismo fenómeno, ó son, por el contrario, diversos el origen y la naturaleza de estos cuerpos? Difícil es contestar con certeza á esta pregunta.

La opinión más extendida de algunos años acá entre los hombres de ciencia, es que todas estas manifestaciones son idénticas en cuanto á su origen. Muchas han sido las teorías propuestas para explicar este fenómeno; pero como algunas de ellas son evidentemente absurdas, y el espacio de que disponemos es muy limitado, nos concretaremos á exponer la única que goza hoy de aceptación universal.

Se supone y se acepta por la generalidad de los sabios que los meteoros son cuerpos planetarios que circulan alrededor del Sol en órbitas cuyas formas vamos á discutir en seguida; que estas órbitas cortan á la de la Tierra en el curso anuo de nuestro globo; que cuando nuestro planeta pasa por el punto de intersección al mismo tiempo que los meteoros, se encuentran éstos con el globo terrestre y caen directamente en su superficie, ó atraviesan su atmósfera, y disminuyendo su velocidad por la resistencia de este fluido, obra la gravedad del globo y caen también en la superficie; que los meteoros llamados estrellas fugaces y bólidos se hacen incandescentes al entrar en la atmósfera de la Tierra, pero se consumen antes de llegar al suelo, mientras que los aerolitos atraviesan toda la atmósfera y llegan á la superficie terrestre de tamaño y con masa apreciable.

Las lluvias de estrellas fugaces, sea la que quiera su importancia, presentan una periodicidad fácil de comprobar, lo cual aleja el temor de que sean estos cuerpos verdaderos meteoros, puesto que la regularidad de los movimientos es uno de los caracteres de los globos planetarios.

En cuanto á su incandescencia al entrar en nuestra atmósfera, pronto veremos que la velocidad de que están animados basta para que la presión que sufren por la resistencia que les oponen las capas gaseosas del aire, los inflame y volatilice. En las clases de física se demuestra el calor que desarrolla la simple presión del aire colocando en el fondo del tubo de cristal del eslabón neumático (fig. 24) una pajueta, la que se inflama al introducir bruscamente y con rapidez el émbolo.

Dice Herschel II, al hablar de su periodicidad, que es imposible atribuir la identidad de las fechas á accidentes casuales y fortuitos, puesto que la periodicidad anua, independiente de la posición geográfica, nos obliga á considerar el punto que la Tierra ocupa en su órbita, y de aquí debemos deducir, necesaria-



Fig. 24. — Eslabón neumático

mente, que en este punto son más frecuentes los choques ó colisiones con el enjambre de meteoros que circula en torno del Sol. «Comprobemos esta idea, dice, examinando algunas de sus consecuencias. En primer lugar, supongamos que la Tierra en su circuito anual se sumerja en un anillo uniforme de pequeñísimos é innumerables planetas meteóricos, de tal espesor, que pueda atravesarlo en uno ó dos días; durante este tiempo podemos considerar que el movimiento de la Tierra y de cada meteoro en particular, es uniforme y rectilíneo, y el de estos últimos, tomados en conjunto, como paralelo ó poco menos, de donde se dedu-

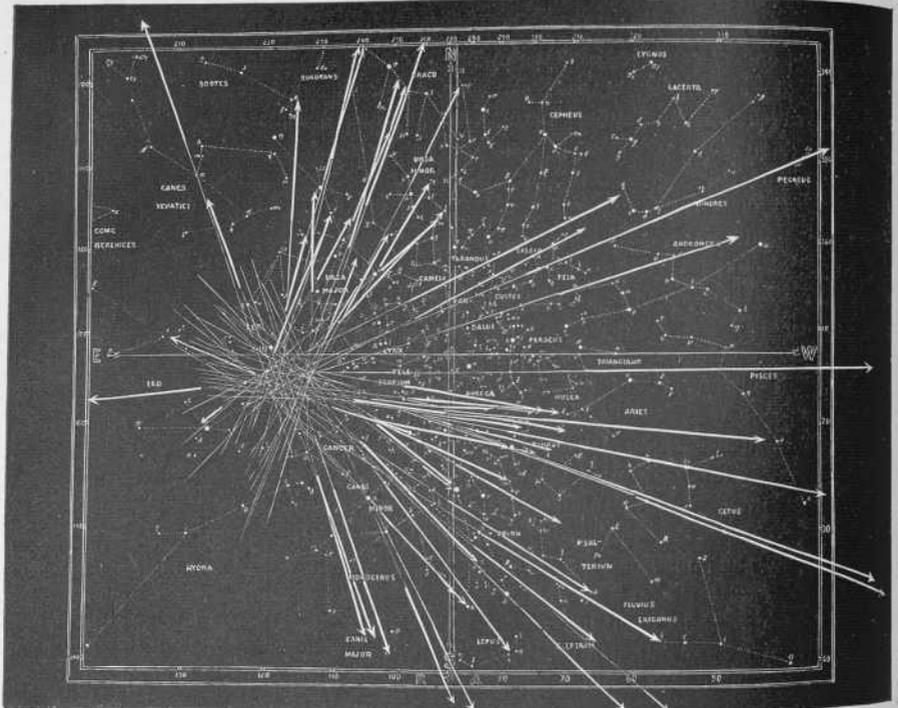


Fig. 25. - Punto radiante de las estrellas fugaces del 13 de noviembre, situado en la constelación del León mayor

ce que el movimiento relativo de los meteoros, referido á la Tierra en reposo, debe ser uniforme, rectilíneo y paralelo. Vistos, por lo tanto, desde el centro de nuestro globo ó desde cualquier punto de su circunferencia, si despreciamos la velocidad diurna como de muy escaso valor en comparación de la anual, parecerá que todos los meteoros divergen de un punto común, *fijo en relación con la esfera celeste*, y como si emanasen de un vértice sidéreo.

»Esto es precisamente lo que ocurre; los meteoros del 12 14 de noviembre, ó al menos su inmensa mayoría, describen, en la apariencia, arcos de círculo máximo que pasan muy cerca de la estrella *gamma* del León, sin que importe nada la situación de esta estrella respecto del horizonte ó de los puntos Este y

Oeste en la época de la observación, pues las trayectorias de todos los meteoros parecen divergir de esta estrella (figs. 25 y 26).

»El 9-10 de agosto se reproduce el mismo hecho geométrico, variando tan sólo el vértice, que se encuentra situado en la constelación de Perseo. Como no tenemos necesidad de suponer que el plano del anillo meteórico coincida con el plano de la eclíptica, y como á un anillo circular podemos substituir una elipse de razonable excentricidad, de manera que la velocidad y dirección de cada meteoro se aparte de los correspondientes elementos de la Tierra en la cantidad

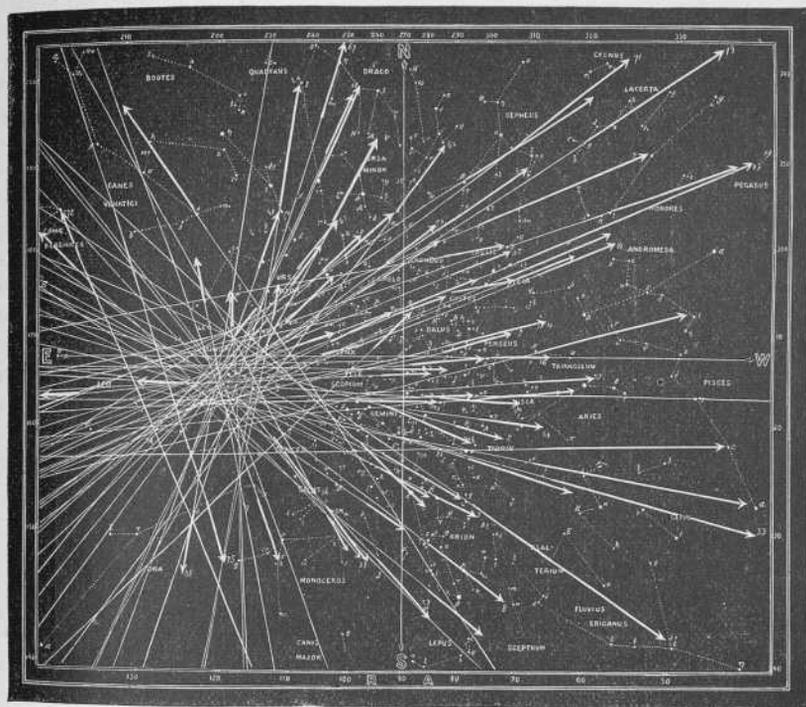


Fig. 26. — 1 rayectorias de 83 estrellas fugaces de la constelación del León, observadas en Glasgow el 13 de noviembre de 1866 por Herschel y Mac-Gregor

que se desee, nada arguye la diferencia de latitud de estos vértices en contra de la suposición que hemos hecho.

»Si los meteoros estuviesen distribuidos con uniformidad en este aro ó anillo elíptico, su choque con la Tierra debiera ocurrir á cada revolución, después de verificada la primera colisión ó encuentro. Pero si el anillo estuviese roto, ó se compusiera de una sucesión de grupos que girasen en una elipse en un período distinto del de la Tierra, pudieran transcurrir muchos años sin que se verificase un choque, y cuando éste ocurriese, diferiría en importancia y esplendor según la riqueza ó exigüidad del grupo.»

Vamos ahora á estudiar las órbitas en que se mueven los meteoros, en el su-

puesto plausible de que sean pequeñísimos planetas, ó cosa semejante, al girar en torno del Sol. La fig. 27 servirá para dar al lector una idea de la teoría, tal cual al principio se imaginó; se admitía que los meteoros eran infinitos en número y que giraban alrededor del lumínar del día á la misma distancia casi que la Tierra, en órbitas circulares ó poco menos, de tal suerte dispuestas, que cortasen á la órbita terrestre ó eclíptica; es claro que si la órbita de la Tierra se cortaba, debiera serlo dos veces, y la distancia relativa entre ambos puntos de intersección habría de corresponder al espacio recorrido por la Tierra desde el 10

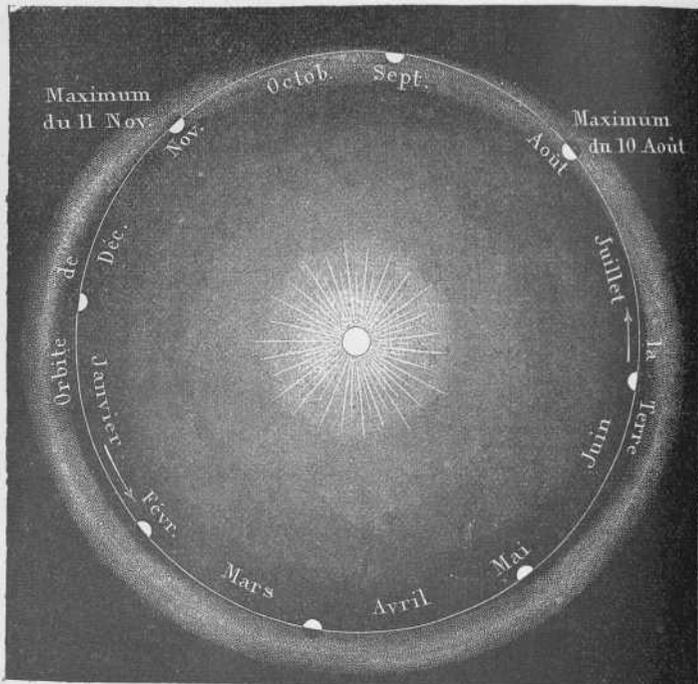


Fig. 27. — Anillo meteórico circular: primera hipótesis

de agosto al 13 de noviembre; pero como era necesario explicar la aparición de los meteoros que se ven en otras épocas del año, además de las indicadas, se amplió la teoría, suponiéndose que existían varios anillos de meteoros, con órbitas características algo distintas entre sí, lo cual era una modificación de la idea original.

Esto condujo á formular una hipótesis nueva, planetaria también, pero de mayor alcance.

Como ya hemos referido, en noviembre de 1833 se contempló una gran lluvia de estrellas fugaces, otra algo menor en 1832, y 33 años antes, esto es, en 1779, otra también magnífica; utilizando el profesor Newton un catálogo de apariciones meteóricas, construído en 1836-1839 con gran esmero por Quetelet, director que fué del Observatorio de Bruselas, se propuso el sabio americano in-

vestigar todas las antiguas relaciones de estos fenómenos que le fuese posible hallar, averiguando que los historiadores hablaban á lo menos de doce que principiaban el año 902 y que sus intervalos eran de $\pm \frac{1}{3}$ de siglo ó algún múltiplo de este período, hecho importantísimo y digno de estudio. Por una serie de raciocinios llegó á deducir Newton que los ± 33 años de periodicidad visible podían conciliarse únicamente con una órbita cuyo período fuese de 180^d, 185^d, 354^d, 377^d, ó de 33,25 años. Por qué debe ser el período uno de estos cinco números, nos lo impiden demostrarlo aquí consideraciones matemáticas; el período que Newton escogió como más probable fué el de 354^d,6, que correspondía á una órbita casi circular, si bien señaló la existencia de un retardo en la fecha, que sólo podría explicarse asignando á la órbita meteórica una de las cinco formas posibles que había calculado; con estas observaciones, y anunciando una gran lluvia para la madrugada del 14 de noviembre de 1866, terminó Newton su investigación.

El profesor Adams se ocupó en seguida de este asunto, extendiendo y profundizando los anteriores cálculos de Newton; apoyándose en las observaciones efectuadas en 1866, dedujo que el punto de radiación de los meteoros de noviembre estaba situado á 9^h 56^m de ascensión recta y 23° 1' de declinación boreal, y calculó los elementos elípticos de la órbita cometaria, que se asemejaban extraordinariamente á los del cometa I de 1866, hasta tal punto que llegó á sospechase que entre ambos fenómenos debía existir un enlace ó relación íntima. Los elementos del cometa, dispuestos de manera que sea fácil la comparación con los del anillo meteórico, son los siguientes:

	Cometa	Anillo
Período	33,18 años	33,25 años
Distancia media	10,3248	10,3402
Excentricidad	0,6054	0,9047
Distancia perihelia	0,9763	0,9855
Inclinación	17° 18'	16° 46'
Longitud del nodo	51 26	51 28
Movimiento	Retrógrado	Retrógrado

La concordancia que muestra este cuadro dista mucho de ser casual, y puede aceptarse como rigurosamente comprobada. Por otra parte, no es la única que se encuentra. Schiaparelli ha demostrado concordancias semejantes entre los elementos de la órbita de los meteoros de agosto y los del cometa III de 1862, y Weiss y Galle han descubierto una semejanza análoga entre los meteoros del 20 de abril y el cometa I de 1861; Arrest también creyó descubrir cierta analogía entre los meteoros de diciembre y el cometa doble de Biela; el regreso de este cometa, que se aguardaba para los meses de agosto y septiembre de 1872, permitió que se comprobara la supuesta relación; y la aparición de una abundante lluvia de estrellas, aunque no de brillo excesivo, que concordaba con el punto radiante en la fecha del fenómeno, y en el mismo curso del cometa de Biela doce semanas después de su paso, corroboró la primera idea, originada por los tres ejemplos anteriores que hemos mencionado, por manera que una apari-

ción extraordinaria de estrellas fugaces tiene lugar casi siempre en la órbita de un cometa, y á poca distancia detrás de su cabeza ó núcleo.

La determinación de los puntos radiantes es en teoría bastante fácil; cuatro observadores, por ejemplo, y uno ó más ayudantes, se sitúan en paraje conveniente y se dividen la estrellada bóveda en cuatro porciones iguales; cada observador tiene delante de sí una carta celeste de la región que explora, en la que se encuentran marcadas todas las estrellas visibles á la simple vista; claro es que los observadores deben conocer la situación y nombres de las estrellas con toda seguridad; cuando aparece un meteoro, avisa un ayudante la hora del cronómetro,

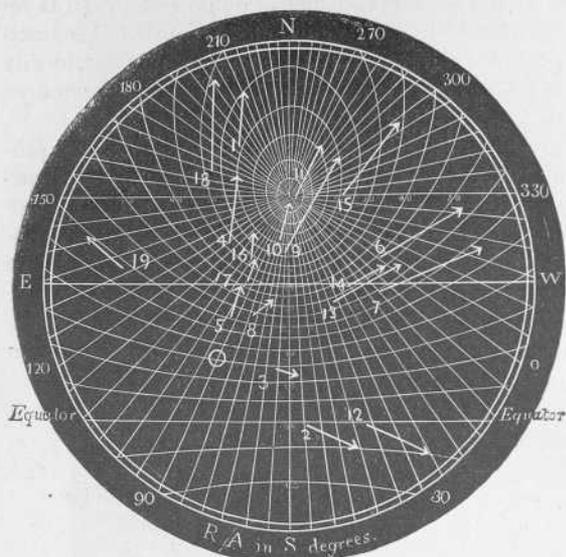


Fig. 28. - Punto radiante de las oriónidas:
20 de octubre de 1865

tró, y el observador marca en la carta el punto de aparición y luego el de extinción de la estrella, y uniéndolos con una recta que se prolonga cuando es necesario, obtiene el punto radiante, que es aquel en que todas las trayectorias se cortan. Este punto se halla naturalmente, y en la apariencia, en alguna constelación, y de ésta toman su nombre las estrellas fugaces; así, pues, las del mes de noviembre, que divergen de la constelación del León, se llaman *las leónidas*; las del mes de octubre, que parten de la constelación de Orión, *las oriónidas* (figura 28); las del mes de

diciembre, que nacen en la constelación de los Gemelos, las *gemínidas* (fig. 29). En estos últimos años se ha impulsado con gran vigor este género de estudios y son varias las juntas y sociedades formadas para la observación y discusión de las estrellas fugaces. Estos trabajos han dado por resultado el descubrimiento de 63 centros de emanación de estrellas fugaces, perfectamente determinados.

Schiaparelli se propuso resolver el siguiente problema: dada una nebulosa situada á gran distancia, pero sujeta, sin embargo, á la atracción del Sol, averiguar en qué forma esta nube de corpúsculos aislados, esférica en su origen, llegará á su perihelio. Resolviendo el problema por el análisis y según los principios de la gravitación universal, demostró Schiaparelli que la masa nebulosa, globular en el punto de partida, se transformó de tal modo poco á poco, que al pasar por las inmediaciones del Sol se encontraba prolongada en una inmensa corriente continua, de forma parabólica, incomparablemente más densa que en su origen, y que podía invertir cientos y aun miles de años en efectuar sucesi-

vamente su paso por el perihelio. De modo que, como la Tierra, en su revolución alrededor del Sol, ocupa á cada momento un punto distinto en el espacio, pasan las corrientes meteóricas á través de nuestra atmósfera en intervalos regulares, y atraídos por la masa terrestre los pequeños cuerpos cósmicos, se hacen visibles por las razones que antes expusimos; los largos rastros parabólicos dan cuenta de este modo de las corrientes periódicas anuas de los meteoros, y según que la porción atravesada es más ó menos profunda ó espesa, será más ó menos considerable el número de estrellas fugaces que correspondan á esta fecha. En cuanto á los períodos de mayor duración, que presentan máximos con intervalos regulares de varios años, los explica Schiaparelli de este modo: así como las largas corrientes parabólicas son comparables, desde el punto de vista de sus movimientos, á los cometas de órbitas infinitas, del propio modo las corrientes periódicas intermitentes son análogas á los cometas periódicos y de regreso regular. Algunas circunstancias particulares, verbigracia, perturbaciones planetarias, pueden transformar una corriente indefinida en un anillo elíptico y cerrado, lo cual ocurre con los meteoros del 13 al 14 de noviembre, pues es un hecho, universalmente aceptado, que las estrellas fugaces provienen de los restos ó disgregaciones de los cometas, y las de la fecha arriba citada representan lo que queda del cometa de Biela que ha desaparecido.

Aunque antes dijimos que las estrellas fugaces recibían indistintamente muchos nombres, es lo cierto que á las muy notables, á las que aparecen como un globo de fuego brillante, de diámetro superior al de Venus y Júpiter y á veces mayor también que el de la Luna, se les da el nombre de bólidos. En esta definición se encuentra implicada la idea de que los bólidos y las estrellas fugaces sean cuerpos idénticos, y así se cree por la generalidad de los astrónomos.

Por lo común, la forma de estos cuerpos es circular, ó ligeramente ovalada y de magnitud apreciable; casi siempre dejan en el cielo una luminosa estela de chispas, que dura en ocasiones muchos minutos y hasta varias horas; también ocurre que el cuerpo estalla, y que, completo ó en fragmentos, cae en la superficie de la Tierra. Sus colores son también muy variados; los más son blancos, otros verdes, azules, rojos, y aun se dan casos de que un mismo bólido pase por todos los colores del arco iris. El P. Secchi observó uno de estos cuerpos, cuya

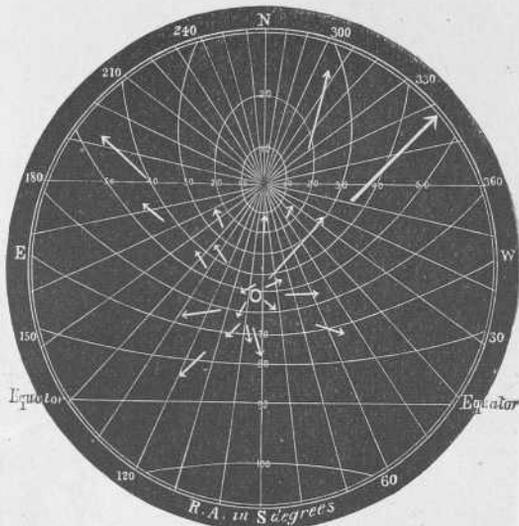


Fig. 29. - Punto radiante de las geminidas:
12 de diciembre de 1864

cola ó rastro permaneció suspendida en el aire como una gota inmensa, roja en la parte inferior y tornasolada en el resto. La sucesión de colores observada en este bólido manifiesta, sin duda, la serie de fases por que pasó el fenómeno de la combustión, y también la variedad de composición química de las sustancias que formaban el meteoro. Igual observación puede hacerse respecto de las estrellas fugaces de una misma aparición ó de enjambres distintos. Un astrónomo observó en Cádiz 50 meteoros en el mes de agosto de 1874, y



Fig. 30. — Caída de un bólido durante el día

de ellos 36 eran blancos, 10 verdosos, 1 azul y 3 de indeciso color. En 1869 estos mismos cuerpos presentaron un tono rojo violado ó verdoso: en 1868 aparecieron casi todos azules, y según Griffith, de 41 estrellas que observó, eran blancas 27, azules 3 y 2 rojas. Probablemente entre los bólidos y las estrellas fugaces no hay más diferencia que la de sus volúmenes y de su estado físico; las segundas son pequeñas masas que se convierten completamente en gases por su rápido paso y su deflagración en la atmósfera; y los bólidos, aunque pertenecientes al mismo enjambre, pueden ser masas sólidas, mucho más voluminosas, cuya superficie se hace incandescente, permaneciendo intacto ó poco menos el centro, y como penetran en la atmósfera á mayor profundidad, experimentan una resistencia superior, que hace que su velocidad disminuya.

En este momento llega á ser preponderante la atracción del globo terrestre,

y se precipitan estas masas en el suelo, muchas veces después de haberse roto en varios fragmentos, como ocurrió con el bólido que estalló en el cielo de Madrid el 10 de febrero de 1896. El día era clarísimo y despejado y el Sol brillaba en toda su pureza, cuando á las 9^h 30^m de la mañana se notó un resplandor



Fig. 31. - Bólidos del 14 de noviembre de 1868: núcleo blanco más brillante que Venus y rastro doble azul

instantáneo, tan intenso, que su luz se percibió al aire libre, á pesar de la luz del Sol, y aun en las habitaciones interiores de las casas. Esta especie de relámpago partió de una nubecilla blanca, muy alta, situada cerca del cenit, de 6^o de largo por 1^o de ancho, encorvada como una media luna. Poco tiempo después



Fig. 32. - Doble rastro vaporoso de un bólido observado el 14 de noviembre de 1868.



Fig. 33. - Rastro de un bólido observado el 14 de noviembre de 1868. Nube ovalada en el punto de desaparición del meteoro.

se oyó un estampido formidable, seguido de truenos tan fuertes, que temblaban las puertas y tabiques, produciendo gran pánico en los habitantes de la villa. El fenómeno fué visible en toda la Península.

Se demuestra también el origen extraterrestre de las estrellas fugaces y los

bólidos por la gran altura á que aparecen en la atmósfera. Brandes y Benzenberg fueron los primeros que trataron en 1798 de determinar la distancia á que se hallan del suelo los meteoros cuando se inflaman y al apagarse; de sus estudios dedujeron que la altura de estas estrellas, en particular en el instante de su aparición, varía de 13 á 42 leguas; dos estrellas fugaces, cuyas alturas iniciales y finales se midieron también, empezaron á mostrarse á 29 y 32 leguas, y se apagaron á 18 y 21 leguas.

Posteriormente se han llevado á cabo varias observaciones de este género que han confirmado la exactitud de las primeras medidas; según Weiss, las estrellas fugaces del 10 de agosto principian á inflamarse, por término medio, cuando llegan á una altura vertical sobre el suelo de 28,6 leguas, y se extinguen á una altura de 22 leguas. El profesor Newton halló para estas mismas distan-

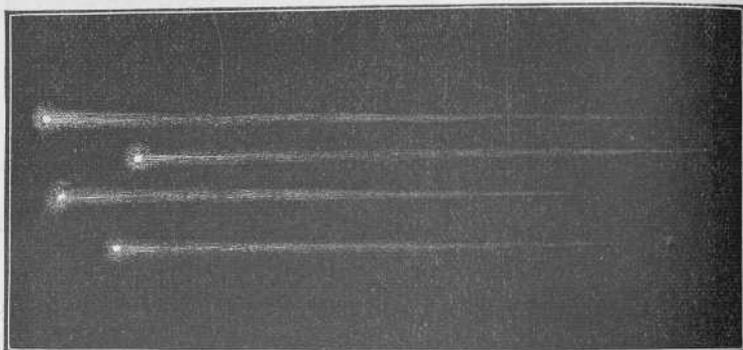


Fig. 34. — Bólido cuádruple observado por Tacchini el 27 de julio de 1874

cias los valores de 28 y 22,5, y Herschel 29 y 23 leguas; como vemos, el promedio es, en números redondos, de 30 leguas para la altura de la aparición y de 22 para la de la extinción. Estos números sólo indican las alturas medias, y algunas estrellas fugaces se inflaman á distancias mucho más considerables; según Heis, observador asiduo y diligente, una de las estrellas fugaces del 10 de agosto de 1866 penetró en la atmósfera á una altura de 72 leguas, y desapareció á las 31 leguas de elevación. La altura inicial y final de una estrella vista simultáneamente en Berlín y Breslau, fué respectivamente de 115 y 77 leguas. Varias estrellas fugaces observadas á la vez en París y Orléans en 1855 por los astrónomos del Observatorio, se hallaban también á más de 100 leguas de elevación. Con este motivo, decía Herschel que había lugar para suponer que sobre la atmósfera aérea existiese otra envoltura más sutil y ligera, y por decirlo así, más ígnea.

Otro elemento de gran importancia, que asimismo se deduce inmediatamente de la altura de las estrellas fugaces, es la longitud real de las trayectorias que recorren á la vista de los observadores, desde el instante en que aparecen hasta el de su extinción; por un sencillo cálculo se averigua, aproximadamente, la velocidad que tuvo al recorrer este arco el punto luminoso. De este modo se

ha visto que algunas estrellas fugaces se mueven con gran velocidad, llegando á recorrer en un segundo un espacio de 18 leguas, esto es, con una rapidez superior á la de muchos cuerpos planetarios, prueba perentoria del origen cósmico de estos meteoros.

Como decimos, se ha tratado de determinar el diámetro aparente y la distancia de muchos bólidos; pero debido á su aparición instantánea y á su cortísima duración, presentan estas medidas pocos visos de certidumbre.

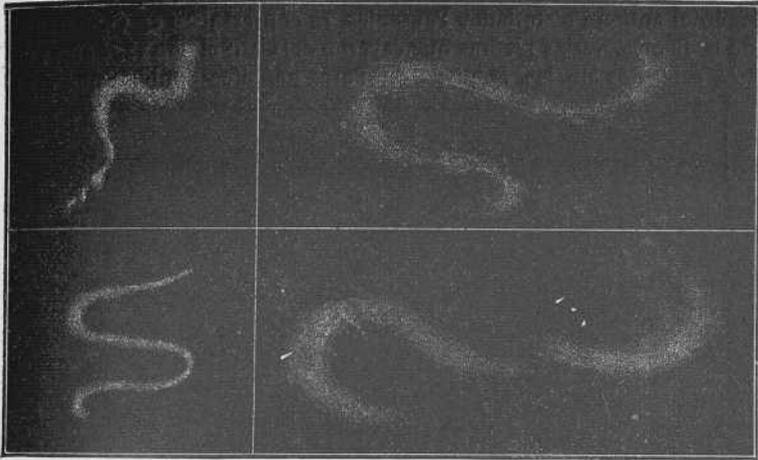


Fig. 35. - Transformación en el intervalo de catorce minutos del rastro de un meteoro observado en América el 14 de noviembre de 1868

Los mayores que se han observado ofrecían aproximadamente los valores que indica el cuadro que sigue:

Fechas	Elevación	Diámetro	Velocidad
Octubre 27, 1844.	128 leguas	metros	18 leguas
Marzo 19, 1718.	119	2558	
Junio 3, 1842.	74		18
Agosto 18, 1841.		3882	
Enero 4, 1837.		2198	
Julio 6, 1850.			23

La velocidad media de los bólidos, según cálculos de Herschel, basados en 66 observaciones, es de 14 leguas por segundo. Debemos de hacer notar aquí que la velocidad de cualquier punto del ecuador terrestre, velocidad que se debe á la rotación del eje de la Tierra, es de 462 metros por segundo, poco más ó menos, y que el movimiento de la Tierra en su órbita es de 7,3 leguas por segundo. Veamos, por lo tanto, que la velocidad de estos bólidos es mayor que la de los planetas, y también es digno de llevarse en cuenta que la dirección general de sus movimientos es contraria á la de la Tierra.

La denominación de *uranolitos* se debe al P. Secchi, quien quería que por este nombre se conociesen los aerolitos, meteoritos ó piedras caídas del cielo, cuya existencia por tanto tiempo negaron los astrónomos. A pesar de esta incredulidad, registra la historia la aparición de estos fenómenos, de un modo más ó menos auténtico, hace más de 3.000 años. En los famosos mármoles de Paros, grabados en esta isla por los años 264 antes de nuestra era, y que constituyen una crónica interesante de la historia griega, hallamos que en el año 1478 antes de J. C. cayó un uranolito en la isla de Creta.

Según el antiguo historiador Pausanias, se conservaban en Orcomenos, ciudad de la Beocia, varias piedras que cayeron del cielo el año 1200 antes de J. C. La línea veintidós de las crónicas de Paros nos dice también que en el año

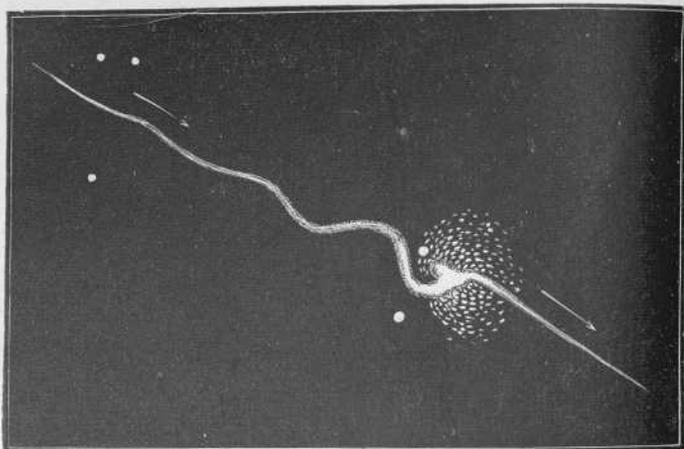


Fig. 36. — Explosión de un bólido de rastro sinuoso, observado el 11 de noviembre de 1869

1168 antes de J. C. se vió caer una masa metálica en el monte Ida, en la isla de Creta.

Es casi imposible asignar una fecha á la caída meteórica á que alude claramente Herodoto, el padre de la Historia, en los libros IV y VII; la traducción castellana de este famoso pasaje dice que el escita Targitas y sus tres hijos vieron un día que cayó un hermoso aerolito; aproximóse el mayor al prodigio, pero estaba tan caliente que no lo pudo tocar. Siguió el segundo y también se quemó los dedos; finalmente, al cabo de algún tiempo, el hijo más joven, Colaxais, se dirigió al uranolito, que ya se había enfriado, y lo pudo transportar. Comprendiendo sus dos hermanos lo que quería decir este prodigio, entregaron el reino al menor. Se supone que Herodoto nació por los años 484 antes de J. C., pero es imposible fijar la fecha de esta anécdota relativa al origen del pueblo escita.

El Dr. Pallas, en sus viajes científicos por Siberia, descubrió una masa de hierro meteórico en una montaña pizarrosa, cerca del río Ienisei; según una tradición tártara, se vió caer la piedra desde los cielos, siendo objeto de veneración para aquel atrasado pueblo. En 1779 fué transportada á la ciudad de

Krasnojarks y pesaba 700 kilogramos; su forma era irregular y su contextura como esponjosa. El Sr. Rubin de Celis describió otra masa metálica análoga encontrada en Buenos Aires y cuyo peso pasaba de trece toneladas.

Los uranolitos observados en este siglo son tan numerosos, que, á pesar nuestro, hemos de reseñar tan sólo los más interesantes.

Desde el punto de vista histórico, el que presenta mayor importancia, por ser el primero que llamó la atención de los astrónomos franceses sobre estos fenómenos, fué el que se vió en Normandía el 26 de abril de 1803; apareció poco después de la una de la tarde, con cielo claro y despejado, distinguiéndose des-

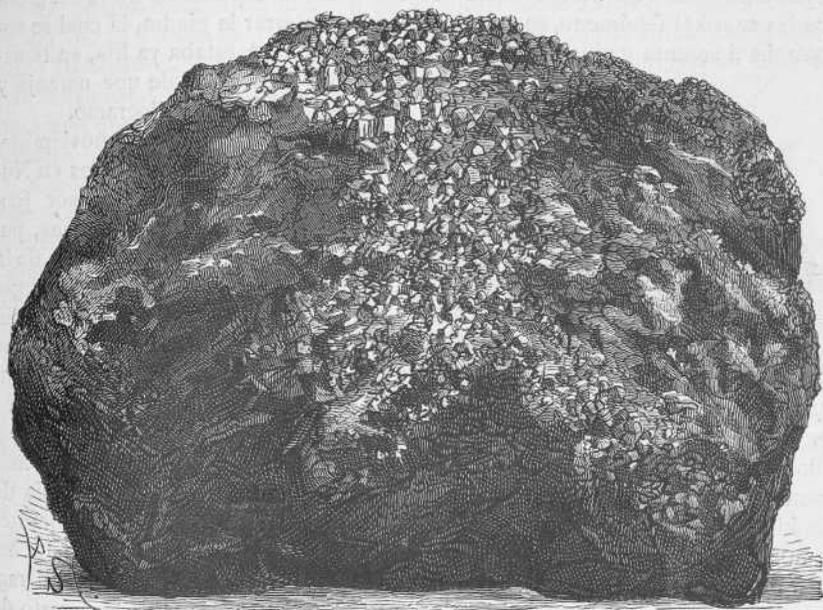


Fig. 37. — Uranolito encontrado en Siberia por el Dr. Pallas en 1776: peso, 700 kilogramos

de muchos pueblos distantes; su movimiento era rápido de Sudeste á Noroeste, y en el pueblo de Laigle se oyeron en este momento fuertes detonaciones que duraron cinco ó seis minutos, y que se asemejaban al ruido de cañonazos, terminando con un redoble «como de cientos de tambores.» M. Biot, de la Academia de Ciencias de París, marchó á Normandía para averiguar cuanto le fuese posible acerca de un fenómeno de que hasta entonces dudaban los hombres de ciencia; pero su investigación, que fué completísima, no le permitió poner en duda la verdad del extraño acontecimiento. El meteoro que produjo el ruido no se parecía á un globo de fuego, sino á una nube pequeña de forma rectangular, que durante el fenómeno permaneció casi estacionaria, si bien á cada explosión sucesiva lanzaba en todas direcciones pedazos de materia ó vapores. En un espacio de dos leguas y media de largo por una de ancho, se recogieron cerca de 2.000 piedras que pesaron desde algunos gramos hasta 8 y 10 kilogramos.

El 5 de julio de 1825 presenciaron los habitantes de Torrecilla del Campo una gran lluvia de piedras que cayeron á eso de las dos de la tarde; pesaban desde 20 gramos hasta 500. La relación de los daños causados por estos uranolitos puede leerse en la *Gaceta de Madrid* del 18 de julio de 1825.

El 31 de enero de 1836, á eso de la una de la tarde, se encontraban de caza en Correze (Francia) los Sres. Ferrión y Soularue, cuando cayó una piedra á unos quince ó veinte metros del punto que ocupaban. A la caída precedieron dos detonaciones comparables á un lejano trueno, y en seguida se oyó un silbido hacia la parte del Norte; el tiempo era lluvioso y no se observó ninguna aparición luminosa. Tan pronto como los cazadores se repusieron de la sorpresa que les causó el fenómeno, se apresuraron á desenterrar la piedra, la cual se encontraba á sesenta y cinco centímetros de profundidad; estaba ya fría, su tamaño sería como de una naranja y su peso de un kilogramo.



Fig. 38. — Uranolito de Valls, 7 de julio de 1885

En 1851, el 5 de noviembre, cayeron varios uranolitos en Nules, Castellón. El profesor Joaquín Balcells, de Barcelona, publicó varias noticias acerca de la lluvia meteórica que tuvo lugar el 14 de mayo de 1861 en Cañellas, cerca de Vilanova; muchos de estos aerolitos penetraron tan profundamente en la tierra, que no fué posible encontrarlos, y sólo se recogieron los que cayeron en las rocas ó terrenos más duros. El más grande de todos, que se encuentra en el Museo de Madrid, pesa poco más de un kilogramo. Gran trabajo costó adquirir este ejemplar, pues los ignorantes campesinos no querían deshacerse de unas piedras que, por venir del cielo, habían de traerles buena fortuna. Del bólido de Madrid sólo se recogieron fragmentos pequeños, y todos en la capital y sus inmediaciones. El 7 de agosto de 1885, á cosa de las diez de la mañana, ocurrió en Valls, en el patio de la cárcel, la caída de un uranolito, que cayó del cielo haciendo un ruido semejante al de un papel que se desgarrar, pero, naturalmente, mucho más fuerte. El uranolito, dibujado por el Sr. Comas, está representado en la figura 38 de tamaño natural. Se hundió en el suelo endurecido 20 centímetros; al desenterrarlo estaba caliente todavía; su peso era de 70 gramos y parecía constituido de partículas férricas unidas por una substancia pedregosa.

Las circunstancias que acompañan á la caída de los meteoros son en extremo variadas, como acabamos de ver por los relatos que anteceden; pero sus caracteres principales ofrecen tal semejanza, que pueden reducirse á muy pocas líneas. El primero es la aparición de una luz brillantísima igual á la de los bólidos; se presenta un globo inflamado, á veces de gran tamaño y esplendor, que ilumina toda la atmósfera, siempre que es de noche, y en muchas ocasiones durante el día; su color es variable y también su dirección, si bien, por lo común, parece la trayectoria horizontal. Suele reventar y dividirse en fragmentos más pequeños,

que se dispersan en todos sentidos; unos cuantos minutos después de la explosión, se oye un ruido como el del trueno ó los disparos de una pieza de artillería; pero si el observador se encuentra muy próximo al lugar de la explosión, puede oír también el silbido que producen los pedazos meteóricos al atravesar las capas de la atmósfera, que algunos comparan al silbido grave de los proyectiles rayados.

Como habrá podido notar el lector, la caída de estos cuerpos pudiera ocasionar á veces, y si fueran muy numerosos, graves daños en las cosechas y los ganados; pero también hay ejemplos de que un solo meteoro haya causado la muerte de uno ó más hombres. En un catálogo chino se lee que en 14 de enero del año 616 antes de J. C., una piedra del cielo rompió varios carretones y mató 10 hombres. La crónica de Frodoard nos dice que el año 944 se incendiaron varias casas por un globo de fuego que atravesó la atmósfera.

Cardano, en su obra *Rerum Varietate*, dice que en el mes de septiembre de 1511 cayeron muchos uranolitos en el llano de Lombardía; los mayores pesaron hasta 60 kilogramos, eran muy duros y estaban cubiertos de azufre. También menciona esta caída Pedro Mártir en su *Opus Epistolarum*. El número de

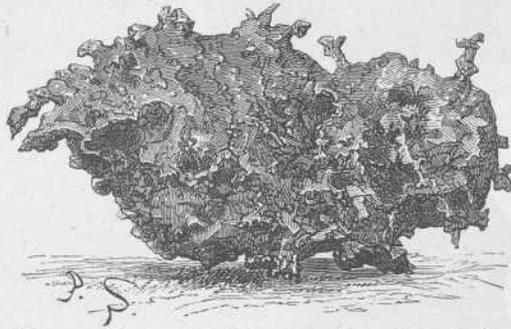


Fig. 39. - Fragmento de hierro meteórico del Dr. Pallas

piedras llegó á 1.120, pesaban muchas libras, y una de ellas mató en el sitio á un sacerdote; también murieron algunos pastores, pájaros, ganado y aun peces.

En 1650 mató una piedra meteórica á un franciscano cerca de Milán.

Según refiere Humboldt, en el año 1674 fueron muertos por un uranolito que pesaba 4 kilogramos dos marineros á bordo de un buque sueco que navegaba con mar llana y todo el aparejo.

En cuanto á los incendios causados por los uranolitos son numerosísimos, y Arago inserta un largo catálogo que su mucha extensión nos impide copiar, pero del que citaremos el siguiente caso por su importancia.

El 13 de noviembre de 1835 apareció un brillantísimo meteoro á eso de las nueve de la noche, con cielo sereno, en el departamento del Ain en Francia; su curso era del Sudoeste al Nordeste, y estalló cerca del palacio de Langieres, incendiando un cortijo techado de paja, las cocheras, cuadras, graneros y quemando los ganados. En pocos minutos fué todo consumido por el fuego. En el lugar de la ocurrencia se encontró al día siguiente un uranolito.

Ahora vamos á hablar de la composición química de los uranolitos. Y como este asunto es de suma importancia, como veremos, porque nos permite en parte averiguar el origen de estos cuerpos, vamos á procurar que nuestras explicaciones revistan la mayor claridad posible.

Un número considerable de los uranolitos que *se han visto caer*, y de que

hemos hablado en las páginas que anteceden, han sido analizados con el mayor esmero por químicos eminentes, y por lo tanto, se conoce su composición con toda seguridad y exactitud. En vez de presentar muchos de los análisis efectuados de estos notables cuerpos, nos concretaremos á exponer dos ó tres característicos y un cuadro sinóptico de la clasificación minero-uranológica.

Es en verdad muy curioso el hecho de que el *hierro metálico*, que diariamente manejan tantos millones de hombres, sea un producto natural rarísimo. Las piedras de hierro, ó mejor dicho, el mineral de hierro (óxido férrico, carbonato férrico) es muy abundante, y á él debemos las maravillas de la industria y una

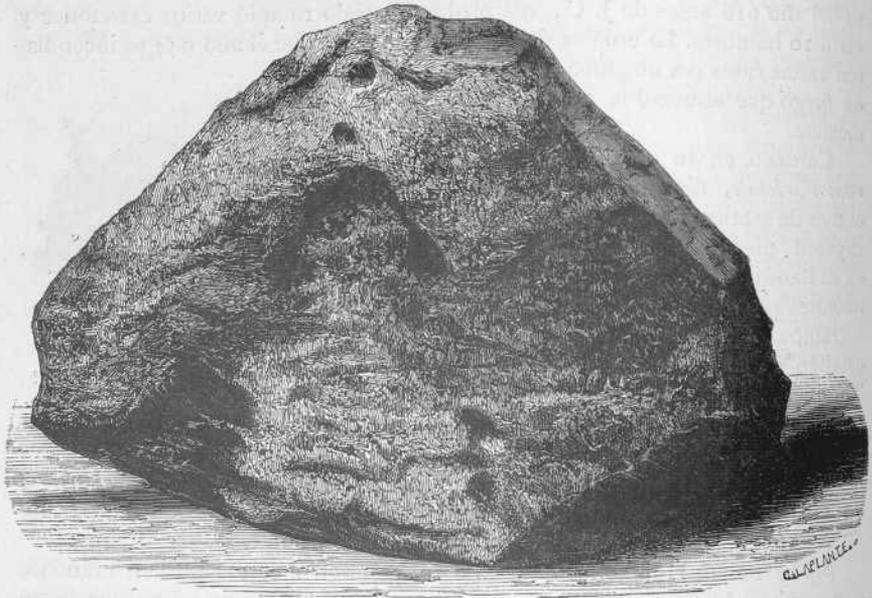


Fig. 40. — Masa de hierro meteórico encontrada por Brard en 1828 en Francia

gran parte del progreso moderno; pero el *hierro nativo*, el hierro en estado metálico, es una de las mayores rarezas del mundo mineral. Ciertamente se le encuentra á veces en los productos de la combustión del carbón, en algunas rocas micáceas, y en granos microscópicos, en algunos basaltos, etc.; pero esto mismo prueba su escasez. Ahora bien, el hierro metálico se encuentra en los uranólitos en cantidades que varían de 95 por ciento á un décimo por ciento; el hierro meteórico no es puro, y contiene siempre cierta porción de níquel, por lo general, 8 ó 10 por ciento, con pequeñas cantidades de cobalto, cobre, estaño y cromo. Las grandes masas de hierro metálico que de vez en cuando se encuentran en la superficie de la Tierra, presentan esta composición, que no se halla en ninguna otra substancia conocida.

Los demás componentes de los uranólitos son ciertas substancias minerales llamadas silicatos, que también se encuentran en nuestras rocas volcánicas; la

principal, y que siempre existe, es la *olivina*, y aquí haremos notar la particularidad de que esta substancia, que jamás falta en los uranólitos, aun en los de carácter metálico, es un mineral característico de las rocas volcánicas; se le encuentra en abundancia en las lavas y basaltos antiguos nada más, y falta en todas las demás rocas que forman la corteza sólida de nuestro globo. Sigue luego la *shreibersita*, compuesto de fósforo, hierro y níquel; las piritas magnéticas; el *hierro cromado* en cantidades pequeñas; el carbón y los *hidrocarburos*, y el *óxido de hierro magnético*.

Estas son todas las substancias que se encuentran en los uranólitos, por cierto no muy numerosas. De modo que, químicamente considerados, presentan los uranólitos una misma y única composición, variando tan sólo su estructura y el predominio de esta ó la otra substancia, según la variedad á que pertenezca el ejemplar que se considere. Así, pues, el hierro metálico, como dijimos, varía de 0,1 á 96 por ciento y más, pero siempre está acompañado de *olivina*; del propio modo la *olivina* varía de 1, 2, 3 á 90 por ciento, etc. Los cuerpos simples ó elementos químicamente descubiertos, pues, en los uranólitos son: oxígeno, azufre, fósforo, carbono, silicio, aluminio, magnesio, calcio, potasio, sodio, litio, estroncio, hierro, níquel, cobalto, cromo, manganeso, cobre, estaño y titanio, y probablemente también, arsénico y cloro.

El uranólito de Madrid fué analizado por M. Meunier, especialista en esta clase de trabajos, quien pudo determinar cuál era la cara anterior y cuál la posterior del ejemplar, en su camino á través de la atmósfera; en su composición entraban gránulos metálicos muy magnéticos, formados de hierro níquelado, con sulfuro de hierro, peridoto, minerales feldespáticos y piroxeno magnésico.

La fig. 42 representa otro uranólito, que pesa 12 kilogramos, y la fig. 43 otro ejemplar de *pedra celeste*, de peso 42 kilogramos, que cayó en Francia el 15 de junio de 1821.

La masa meteórica más voluminosa que se ha encontrado, se representa en la figura 44; pesa 20.000 kilogramos y la descubrió el famoso explorador sueco Nordenskjöld en la isla de Disco, de Groenlandia.

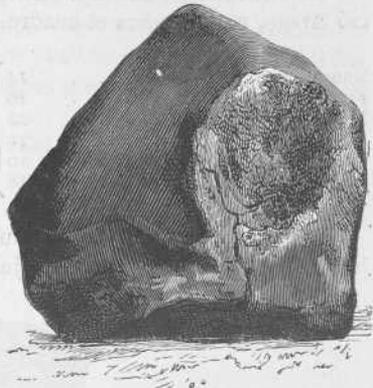


Fig. 41. — Fragmento de uranólito carbonoso de Orgueil

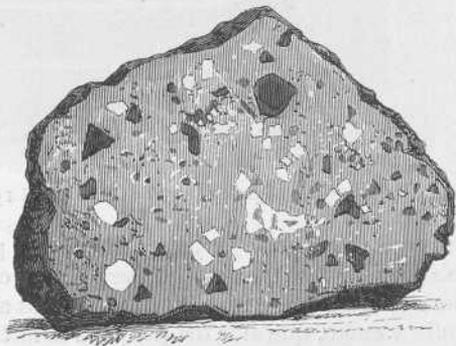


Fig. 42. — Uranólito de la Sierra de Chaco: peso, 12 kilogramos

Pertenece al grupo de los uranolitos carbonosos, y según opinión de los sabios que lo han analizado, es de origen cósmico, si bien en este punto hay algunas dudas.

La distribución de los uranolitos, según los meses en que cayeron, la estableció Arago, como indica el cuadro siguiente, que comprende 206 observaciones.

Enero.	14	} 99	Julio.	23	} 107
Febrero.	10		Agosto.	16	
Marzo.	22		Septiembre.	17	
Abril.	15		Octubre.	18	
Mayo.	20		Noviembre.	20	
Junio.	18		Diciembre.	13	

Del examen de esta tabla resulta que el promedio mensual de diciembre á junio (16) es menor que el de julio á noviembre (18), y que, por la tanto, los



Fig. 43. - Uranolito que cayó en Francia el 15 de junio de 1821: peso, 42 kilogramos

meses de marzo, mayo, julio y noviembre presentan un número máximo, y también parece resultar que la Tierra en su curso anual alrededor del Sol encuentra un número más crecido de uranolitos al pasar del afelio al perihelio, ó entre julio y enero, que al ir del perihelio al afelio, ó entre enero y julio. Pero las observaciones no son bastante numerosas para que puedan acogerse estos resultados con toda confianza; otro tanto ocurre si se agrupan las observaciones por horas del día ó de la noche. De 126 meteoros, han caído 86 de las seis de la mañana á las seis de la tarde, y 40 tan sólo de las seis de la tarde á las seis de la mañana. «De 72 meteoros cuya caída conocemos con toda exactitud, dice Herschel, el mayor número, 58, cayeron después del mediodía, desde las doce á las nueve de la noche.» De los 126 meteoros referidos antes, cayeron 66 de las doce á las nueve de la noche, esto es, poco más de la mitad. Finalmente, han caído 53 de media noche á mediodía y 73 de mediodía á media noche.

Se comprende, sin mayor esfuerzo, que el predominio de las caídas durante el día puede provenir de que en esta ocasión es mayor el número de los testigos. En cuanto á la distribución según los lugares, se notan diferencias curiosas, pareciendo notablemente favorecidos unos países más que otros.

También se ha averiguado, y se enseña como regla general, que el área en que descarga una *invisible* nube de uranolitos es ovalada y mide de 7 á 16 kilómetros de largo por uno ó dos de ancho, y que las piedras mayores se encuentran en uno de los extremos del óvalo.

No hay que creer que la teoría cósmica ó del origen extra-terrestre de los

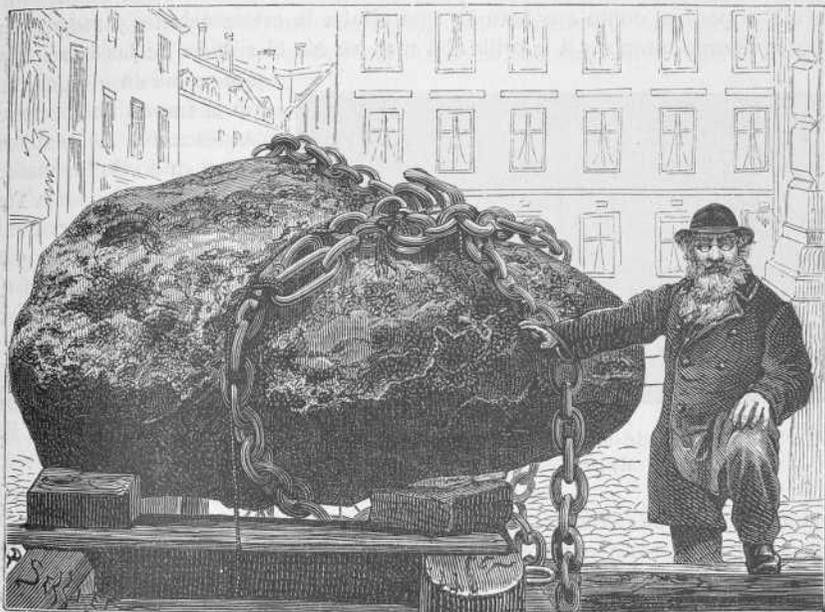


Fig. 44. — Bloque de hierro meteórico descubierto en la isla de Disco en 1870: peso, 20.000 kilogramos

uranolitos sea de fecha muy reciente; cierto es que muchos escritores modernos que se han ocupado de esta materia en memorias y publicaciones de todo género, han desdeñado por completo tratar de la parte histórica del asunto, pero esta conducta no nos parece conveniente y vamos á reseñar de un modo breve cuanto de más importancia se ha dicho sobre el origen de estos notables cuerpos.

El Dr. Chladni fué el primero que trató de demostrar el origen cósmico de los uranolitos, y á él se debe el primer esbozo de la teoría planetaria que hoy se profesa por algunos. Decía Chladni que «así como las partículas térreas y metálicas forman los principales componentes de nuestro planeta, siendo el hierro un elemento muy esencial, pueden constituirse los otros cuerpos planetarios de las mismas substancias, aunque combinadas de distinto modo. También puede

suceder que sean materias densas acumuladas en pequeñas masas (los meteoritos), sin que se encuentren en contacto inmediato con los grandes cuerpos planetarios, dispersadas en el espacio infinito, y que impulsadas por alguna fuerza proyectiva ó de atracción, continúan moviéndose hasta que se aproximan á la Tierra ú otro astro, y atraídas por él, caen en su superficie. Por su gran velocidad, aumentada por la atracción terrestre, y por su extraordinario rozamiento con la atmósfera, desarrollan un calor considerable de naturaleza eléctrica, por cuyo medio se reducen á llamas y se funden, desprendiendo inmensas cantidades de gases distintos, etc.» De esto á la teoría planetaria sólo media un paso.

Los antiguos astrónomos que desconocían el movimiento de la Tierra sobre su eje, suponían, como era natural, que giraba la esfera celeste, y aseguraban que en tiempo sereno, y á la orilla del mar, se oía el silbido de las estrellas al

sumergirse en el agua, como si fuesen de hierro incandescente. Así explicaban el ruido de los meteoros cuando caían en la Tierra. En el siglo XVII trataron los astrónomos y geómetras de averiguar si no podían provenir los meteoritos de alguno de los astros del sistema solar, verbigracia, si no podían ser lanzados por la Luna. En efecto, como hemos visto en las páginas anteriores,

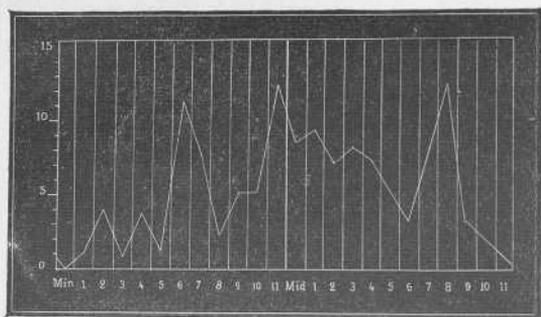


Fig. 45. - Curva de la distribución horaria de la caída de los uranolitos

se halla demostrada la existencia de antiguos volcanes en nuestro satélite, y sus inmensos baluartes atestiguan cuán considerable debió ser la cantidad de materia que en un tiempo vomitaron. Veamos si es posible admitir que los productos volcánicos de la Luna lleguen á caer en la Tierra.

Un grave, un cuerpo pesado que se suspende, se precipita hacia la superficie de la Tierra, ó más bien hacia su centro, con una velocidad inicial tanto menor cuanto más elevado está el punto en que se le abandona, y en virtud de una causa que se llama gravedad. Entiéndase que hablamos de los primeros momentos de la caída. No es posible dudar que este mismo fenómeno se verificaría también para los cuerpos lunares que se elevasen sobre la superficie de nuestro satélite, y que, abandonados en idénticas circunstancias, caerían en su suelo.

Imaginemos ahora una línea recta que una los centros de la Luna y de la Tierra; ha de haber necesariamente una región intermedia entre ambos globos, en donde los cuerpos estarán en equilibrio, porque con igual fuerza los atraerán la Luna y la Tierra; más acá de este punto caerá sobre nuestro planeta cualquier grave, y más allá sobre la Luna. Bastaría, pues, para que un cuerpo lunar cayese en la Tierra, que fuera proyectado desde la superficie de nuestro satélite con bastante fuerza para rebasar la región en que los cuerpos permanecen en

equilibrio entre las dos tendencias contrarias. La gravedad es en la superficie de la Luna unas seis veces, como sabemos, más débil que en la Tierra, por manera que un hombre que quisiera saltar en nuestro satélite, de abajo arriba, se elevaría á una altura considerable. ¿Es posible lanzar un cuerpo desde la superficie de la Luna, con tal velocidad que no vuelva á caer en ella?

Planteada de este modo la cuestión, ha podido someterse al cálculo, y se ha averiguado que, en vista del poco volumen y masa de la Luna, y la carencia de atmósfera en torno de este astro, un cuerpo lanzado en dirección á la Tierra entraría en su esfera de atracción si se proyectase desde la Luna con una velocidad de 2.500 metros por segundo. Esta velocidad no supera á la velocidad de proyección que observamos en los volcanes terrestres; el Cotopaxi, por ejemplo, ha despedido en ocasiones rocas ardientes con una fuerza superior á la que indica el cálculo anterior; una potencia semejante no es imposible que llegue á conseguirla la industria con el empleo de las nuevas substancias explosivas, como la dinamita, cordita, melanita, etc., de modo que por extraordinario que á primera vista parezca, podrían los selenitas ponerse en comunicación con la Tierra por medio de proyectiles, sistema, en verdad, poco tranquilizador.

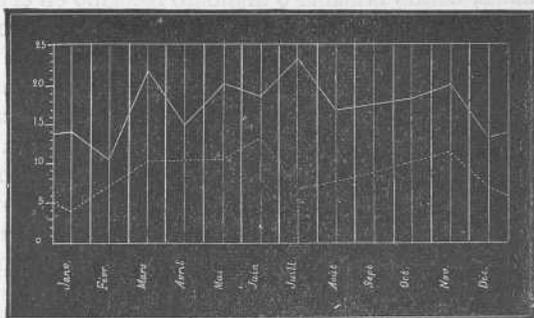


Fig. 46. - Curva de la distribución mensual de la caída de los uranolitos

A principios de este siglo, Olbers, Laplace, Poissón y Biot se ocuparon de estas especulaciones con objeto de comprobar si, según la opinión emitida por Terzago en 1660, era posible buscar en la Luna el origen de las masas sólidas que por tantos siglos han caído de vez en cuando en la Tierra, opinión que, como acabamos de ver, era completamente admisible.

Contra esta hipótesis se presenta, entre otras, una objeción de mucha fuerza: la enorme velocidad con que penetran en nuestra atmósfera la mayor parte de los uranolitos observados.

En efecto, se ha comprobado que las velocidades de los uranolitos en la atmósfera son realmente siderales, y comparables á la de la Tierra en su órbita, puesto que llegan á cuarenta y cincuenta kilómetros por segundo, de lo cual resulta que estos cuerpos vienen de las profundidades del espacio, ó circulan alrededor del Sol, pero no de la Tierra.

Durante algún tiempo se sostuvo por astrónomos eminentes que los uranolitos procedían de un planeta desconocido, que estalló, ó por causas internas ó por choque con otro cuerpo, y que sus restos, viajando por el espacio, pasaban en ocasiones tan cerca de la Tierra, que penetraban en su atmósfera y aun caían al suelo. Esta teoría cuenta en la actualidad con muy pocos partidarios, pues aparte de las objeciones que se le pueden hacer y que son irrefutables, su supo-

sición es completamente arbitraria. Pero no ocurre lo mismo con la llamada teoría cometaria, en la cual se admite que las estrellas fugaces son cuerpos sólidos lo mismo que los bólidos y los uranolitos, sin más diferencias que las que presentan de composición química, magnitud y densidad, pues todos estos cuerpos aparecen á la misma altura en la atmósfera; sus velocidades, aunque no iguales, son siempre enormes, y entre sus colores y aspectos hay extraordinaria semejanza. Y como quiera que varias lluvias de estrellas fugaces ó apariciones periódicas de estos meteoros, entre otras, las principales y mejor estudiadas del 20 de abril, 10 de agosto, 14 y 27 de noviembre, están idénticamente incorporadas á cuatro cometas conocidos, no hay razón para rechazar que todos estos cuerpos no tengan el mismo origen cometario, aunque todavía no se haya podido determinar el cometa á que pertenezca cada aparición de estrella fugaz esporádica, bólido brillante ó uranolito recogido en el suelo.

Cierto que el problema no es tan sencillo como á primera vista pudiera creerse y que la teoría tendría que dar cuenta de algunas irregularidades; pero debe considerarse que de la marcha de los enjambres meteóricos sabemos todavía muy poco, como lo demuestra la decepción sufrida en noviembre de 1899 y 1900; en estas fechas se aguardaba la gran lluvia periódica de 1833 y 1866, y á pesar de la diligencia de los astrónomos y del concurso de muchos aficionados repartidos en toda la redondez de la Tierra, nada se ha visto, fuera parte de algunas apariciones sin importancia; y aunque no pueda afirmarse que todos estos cuerpos procedan de cometas, es, sin embargo, una teoría muy plausible la de suponer que el origen de los cometas, las estrellas fugaces, los bólidos y los uranolitos, es idéntico.

CAPITULO VI

LA LUZ ZODIACAL

Aspecto de la luz zodiacal y circunstancias que acompañan su aparición. — Teorías sobre la constitución de la luz zodiacal

Llámase luz zodiacal á un débil resplandor nebuloso, de forma cónica ó lenticular, que con frecuencia se observa en el horizonte occidental, después del crepúsculo, en los meses de invierno y primavera, y en el horizonte oriental, antes de la salida del Sol, en las estaciones de verano y otoño. En realidad, se extiende á ambos lados del luminar del día, casi en el plano de la eclíptica, de modo que su eje de figura pasa siempre, al parecer, por el centro del Sol.

La distancia aparente de su vértice al astro central de nuestro sistema varía, según las circunstancias, entre 50° y 70° y algunas veces más; el ancho de su base en ángulo recto con el eje mayor varía entre 8° y 30° . Durante sus apariciones vespertinas llega su vértice, por lo general, al punto del cielo situado en las Pléyades ó Cabrillas, en la constelación del Toro. Sus contornos son casi siempre confusos y no presentan un límite cortado, al menos en nuestras latitudes.

En los trópicos se ve constantemente y con gran esplendor; dice Humboldt que en la costa de Valencia la observó fácilmente y también en las vegas de Castilla. En Cádiz aparece con brillo singular en las noches despejadas de primavera, por ejemplo, en el mes de marzo, levantándose como fosfórico y gigantesco huso sobre la tranquila superficie del Océano.

La razón de que no sea visible la luz zodiacal por la tarde, en el verano y el otoño, es muy clara; en nuestras latitudes el curso de la eclíptica en el Sudoeste durante estas estaciones se encuentra tan cerca del horizonte, que la luz se extingue por el gran espesor de la atmósfera que tiene que atravesar. En la figura 47 vemos que á la postura del Sol en la época de los equinoccios corresponden diversas inclinaciones de la eclíptica sobre el horizonte, según que se considere el equinoccio de primavera ó el autumnal; y del propio modo, en la figura 48 se manifiesta igual fenómeno, pero antes de la salida del Sol.

El Dr. Eduardo Heis, de Múnster, que se ocupó mucho del estudio de la luz zodiacal, en un período de 29 años, de 1847 á 1875, clasifica por meses sus 417 observaciones, como manifiesta el siguiente cuadro:

Enero.	58	Julio.	4
Febrero.	71	Agosto.	12
Marzo.	81	Septiembre.	23
Abril.	58	Octubrè.	28
Mayo	10	Noviembre.	19
Junio.	5	Diciembre.	48

La figura 49 hace más sensibles á la vista estos resultados, y revela la existencia de dos máximos de visibilidad, que corresponden á los meses de marzo y octubre, y de dos mínimos, el principal en junio ó julio y el segundo en noviembre. Debemos de tener en cuenta, al considerar estos períodos de visibilidad, los fenómenos extraños á la naturaleza y condiciones inherentes á la aparición de la luz, como son el estado de la atmósfera y su mayor ó menor transparencia, el resplandor y situación de la Luna y la duración de los crepúsculos.

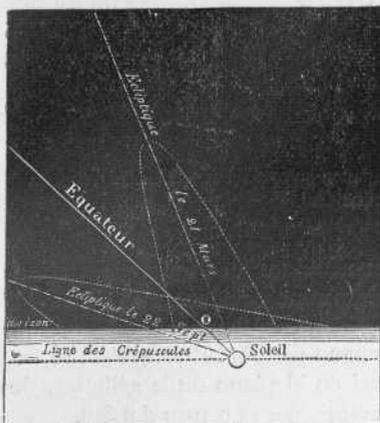


Fig. 47. — Posiciones de la eclíptica á la postura del Sol en los equinoccios

Mediodía de la eclíptica. La figura 50, dibujada por Heis, confirma por completo estas observaciones; la forma irregular de la elipse total, la divergencia del eje mayor con la eclíptica y la posición excéntrica del Sol, se deducen claramente del examen de la figura. En la noche del 23 al 24 de diciembre de 1851, en que se efectuó la observación, se presentaron completos los límites de la luz zodiacal, y tan sólo dejó de verse una pequeña porción del borde meridional, que en la figura se marca con puntos. La longitud total alcanzó $147^{\circ} \frac{1}{2}$, su ancho 57° y la elongación de su vértice occidental $80^{\circ} \frac{1}{2}$; en otras ocasiones esta elongación ha sido más considerable, y en 1875 midió 117° ; la comparación de las numerosas observaciones que hemos citado, da un promedio anual de 83° , según Heis, y de 88° , según Weber, para la elongación occidental, y de 66° (Heis) y 63° (Weber) para la elongación oriental. Los mismos astrónomos han trazado una figura en la que consta

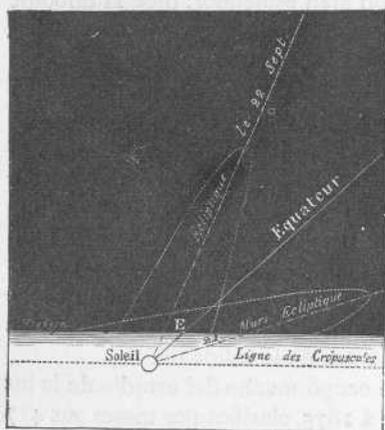


Fig. 48. — Posiciones de la eclíptica al orto del Sol en los equinoccios

la serie de los máximos y mínimos de las elongaciones, y cuyo examen no parece revelar ley alguna en cuanto á la periodicidad de las variaciones, manifestando tan sólo la constante superioridad del huso occidental sobre el opuesto.

Se dice que Plinio y Séneca, en sus obras, hicieron mención de la luz zodia:

cal y que la llamaban *trabes*, pero parece más probable que sólo se refirieran á la luz de la aurora. Nicéforas, el historiador, es el primero que hace relación de este fenómeno, según puede juzgarse por el pasaje siguiente, en que describe la entrada de Alarico en Roma el año 410. «Ocurrió entonces un eclipse de Sol, durante el cual fué tan grande la obscuridad, que aparecieron las estrellas en pleno día.... Se vió al propio tiempo en el cielo, al hallarse eclipsado el Sol y sobre este astro, una luz extraña que tenía la forma de un cono, y que algunas gentes, mal informadas, tomaron por un cometa, pero no tenía estrella que pudiera servirle de núcleo. Era más bien una llama que subsistía por sí misma como una gran lámpara.... La posición y movimiento de este cuerpo cambió de

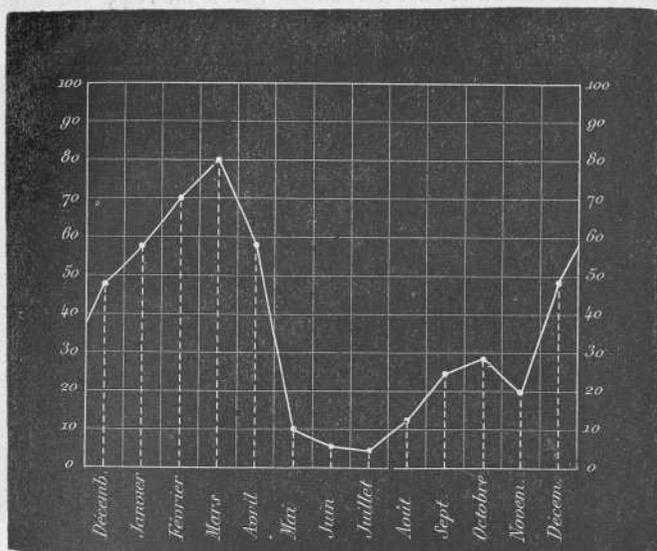


Fig. 49. — Curva de la visibilidad de la luz zodiacal en Europa, según las observaciones de Heis

tiempo en tiempo. Al principio estaba situado en la parte del cielo por donde nace el Sol en el equinoccio vernal; luego pareció inclinarse hacia la región del zodiaco que se aproxima á la última estrella de la Osa mayor, siempre con su vértice hacia el Oeste; después que hubo viajado de esta suerte á lo largo del zodiaco por espacio de más de cuatro meses, desapareció. Su vértice se puso á veces más aguzado, y el cuerpo adquirió una forma más prolongada que la del cono; después de esto se acortó y volvió á su proporción primera. También tomó otras formas extraordinarias y no se parecía á ningún fenómeno conocido. Empezó á mostrarse á mitad del verano y duró hasta el fin de otoño.»

Como, aparte de esta observación bastante característica, no se encuentran en los libros antiguos detalles ni particularidades de esta manifestación natural, en los libros antiguos detalles ni particularidades de esta manifestación natural, perfectamente visible á la simple vista, en el Mediterráneo, Siria y Egipto, y como tampoco la mencionan los autores árabes, llegó á creerse, después de las ob-

servaciones de Cassini, que se trataba de la aparición de un nuevo fenómeno. Keplero, no obstante, habla de la luz zodiacal, y también Descartes trató de este asunto en 1630; pero hasta que Cassini la vió por primera vez en marzo de 1683, no comenzaron los astrónomos á ocuparse de este fenómeno. Cassini describía el aspecto de la luz como semejante á la Vía láctea, pero más clara y brillante en el centro, y más débil hacia los extremos. La compara á la cola de los cometas, y en su juicio es muy semejante á la de estos apéndices, no sólo por su transparencia, sino también por su color.

Mairán la creía más brillante que la Vía láctea, pero no tan blanca, sino con un ligero tinte amarillo ó rojo, sobre todo en la parte baja. Arago también la vió rojiza y pudo compararla á la cola del cometa visible en 1843. Otros muchos observadores modernos creen asimismo que su color es amarillento y algo encarna.

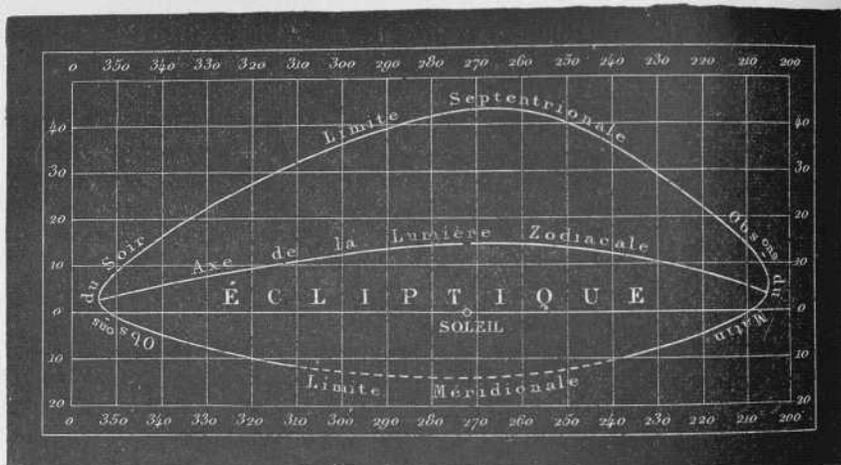


Fig. 50. — Límites y contornos de la luz zodiacal, según Heis

do, en particular cerca de la base, donde es mayor su resplandor; en esta parte llega á eclipsar á las estrellas, que en el resto del cono y á su través se ven sin dificultad. También se ha notado por algunos astrónomos cierto movimiento ondulatorio en la luz, que suelen llamar pulsaciones ó vibraciones.

Uno de los más asiduos observadores de la luz zodiacal fué Mr. Jones, capellán de la fragata americana *Mississippi*, que dió la vuelta al mundo en 1853; según resulta de la Memoria que sobre este fenómeno publicó, la luz tiene un tinte *cálido, suave y amarillento*, muy distinto del tono frío y blanco de la Vía láctea, con cuya apreciación está conforme el jesuita Serpieri, de Roma. Como Jones navegó largo tiempo por los mares de la China y del Sur, pudo hacer un detenido estudio de esta maravillosa manifestación, y la divide en cuatro partes distintas: en la base del cono principal se eleva, con diversas formas, un resplandor muy vivo, que llama *luz refulgente*; viene luego el cono del centro más conocido y lo denomina *luz central*; alrededor de ésta y como envolviéndola aparece la luz difusa, y por último, una zona más ancha y tenue forma la luz pálida.

Estas divisiones, que en Europa no pueden columbrarse, se perciben claramente entre los trópicos.

Cuando Jones dió á conocer el resultado de sus estudios sobre la luz zodiacal, transmitió Humboldt á la Academia de Berlín algunas observaciones inéditas del mismo fenómeno, que había efectuado en el mes de marzo de 1803; en más de una ocasión pudo distinguir una segunda luz hacia el Este, al mismo tiempo que la principal brillaba en el Occidente; creyó al principio que este fenómeno se debiera á un efecto de reflexión; Heis, Brorsen y otros observadores, y el mismo Jones, también han percibido esta segunda luz, que los alemanes llaman *contra resplandor*, palabra bastante vaga y de significación dudosa. Brorsen, Liaís y Gruey han notado asimismo que la luz occidental y su reflejo del Este se reunían con un filete de brillo escaso, de modo que el fenómeno, en ocasiones, describía un círculo completo en la bóveda celeste.

De la naturaleza de la luz zodiacal no sabemos absolutamente nada, y se desconoce por completo la substancia misteriosa que produce este pálido y melancólico resplandor. Mas no por eso se han arredrado los astrónomos y son varias las teorías propuestas para explicar el fenómeno. Reseñaremos ligeramente las principales.

Del movimiento propio del cono luminoso hacia el Oriente, de la dirección de su eje, que pasa poco más ó menos por el ecuador solar, y de su aspecto elíptico ó lenticular, dedujo Cassini, primer observador escrupuloso del fenómeno en Europa, que en el plano del ecuador solar debía existir una materia, extendida en el éter, que radiase hacia la Tierra su propia luz, ó que reflejase la del Sol. Fundándose en varias consideraciones, más ó menos acertadas, opinaba Cassini que la luz zodiacal podía deberse á una infinidad de cuerpos pequeños que circularan en torno del Sol. Mairán aceptó las ideas de Cassini acerca de la disposición de la luz zodiacal, pero la consideró como parte de la atmósfera solar. Según Euler, el fenómeno se debía á un anillo semejante al de Saturno, que rodeaba el globo del Sol. Laplace estudiaba la luz zodiacal, fundándose en su gran teoría de la constitución del universo, y suponiendo que las zonas abandonadas por la atmósfera del Sol contenían moléculas demasiado volátiles para unirse entre sí y que, por lo tanto, habían de continuar circulando alrededor del astro central con un movimiento análogo al de los planetas. Arago, Humboldt, Herschel, Biot y otros muchos astrónomos admitían que la luz zodiacal era un fenómeno solar, y que el Sol ocupaba el centro de un anillo nebuloso, más ó menos plano. Observaciones recientes parecen demostrar que la luz del fenómeno proviene del Sol y que es reflejada por una materia sólida, que puede consistir en pequeños cuerpos ó uranolitos que efectúen sus revoluciones en torno del Sol en órbitas próximas á la eclíptica.

La opinión que más viso de probabilidad tiene hoy día, y que en general se acepta por los astrónomos, consiste en suponer que la luz zodiacal es una continuación de la atmósfera del Sol, pero que su naturaleza debe ser muy rara, puesto que á pesar de su grueso ó profundidad de cerca de 100 millones de leguas, ofrece bastante transparencia para que se perciban á través suyo pequeñas estrellas, sin que cause tampoco resistencia sensible en los movimientos de Venus y Mercurio. Pretenden algunos astrónomos modernos, entre otros el

P. Serpieri, que la luz zodiacal sea un fenómeno terrestre, una especie de aurora magnética; pero para que este punto se halle comprobado faltan aún muchas observaciones. Repetiremos que la mayor parte de los sabios piensan que esta manifestación natural se debe á una materia meteórica de estrellas fugaces y cometaria, que se dirige hacia el Sol. Hemos visto, en efecto, que la materia de los cometas se dispersa lentamente en el espacio, y sin duda debe dirigirse poco á poco hacia el centro general de atracción. M. Roche, cuyos trabajos citamos en lugar oportuno, la cree un resto de la nebulosa primitiva; en todo caso, puede afirmarse que se extiende hasta el globo solar.

Confirma el P. Secchi esta conclusión recordando que el cometa de 1843, en el mes de marzo, pasó muy cerca del cuerpo solar, hasta encontrarse envuelto en su atmósfera; ahora bien, el día que apareció el cometa, al lado de la inmensa cola brillaba la luz zodiacal con su resplandor ordinario y de color marcadamente rojo. El P. Secchi la vió en Loreto y M. Cooper en Niza, con extraordinaria brillantez, que, á no dudar, provenía de la agitación causada en la atmósfera solar por este huésped extraño. De aquí podría, pues, deducirse que esta luz es propia de la atmósfera solar y no un anillo desprendido, como por mucho tiempo se ha supuesto. Creía Mairán, en el siglo antepasado, que la atmósfera del Sol al mezclarse á la de la Tierra daba origen á la luz zodiacal y á las auroras boreales; pero en la actualidad no es posible sostener esta teoría, puesto que se sabe ciertamente que las auroras polares son fenómenos eléctricos que se desarrollan en la atmósfera terrestre, y que en la parte Norte descienden mucho, hasta el punto de interponerse entre el observador y los montes lejanos, llegando á sufrir el influjo del viento.

Serfa, no obstante, muy conveniente averiguar si la luz zodiacal no presentaba algunas relaciones con el magnetismo terrestre, ó con el período decenal de las manchas solares. Si el Sol ejerce una acción inmediata y bastante considerable en este fenómeno, se obtendría un dato precioso, para relacionarlo con los fenómenos magnéticos que se verifican en los espacios celestes. Mas hasta la época presente no se ha hallado nada en este sentido, que justifique semejanza concomitancia.

En resumen, vemos que la formación de nuestro sistema solar se encuentra ligada al estado actual del Sol, que los planetas formaban en otro tiempo parte de la misma masa nebulosa, que los cometas son seres extraños á esta formación y que constituyen una sola familia con los bólidos y las estrellas fugaces. Todas las partes de nuestro mundo planetario tendrían, pues, un origen común, y el sistema completo se encontraría en comunicación con los demás sistemas del universo por medio de los cometas y las estrellas fugaces.

Mucho podríamos agregar á lo que antecede, que de tanta importancia parece, pero no tenemos espacio para ello; el lector que quiera profundizar más el asunto puede acudir á los trabajos originales de Roche y á las memorias de Schiaparelli.

LIBRO CUARTO

LAS ESTRELLAS Y LAS NEBULOSAS

CAPITULO PRIMERO

LAS ESTRELLAS Á LA SIMPLE VISTA

Número y magnitud de las estrellas. - Las constelaciones. - Estrellas variables. - Estrellas nuevas ó efímeras

El número total de estrellas de la esfera celeste, visibles á la simple vista media, puede estimarse, en cifra redonda, en unas 5.000; varía tanto este guarismo, según que la vista del observador es más perfecta ó está mejor educada, que tan sólo pretendemos indicar con él una aproximación bastante razonable. Cuando se dirige el telescopio á los cielos, se advierte que por cada estrella visible á la simple vista, hay cientos, ó mejor dicho, millones, que no se perciben sin auxilio de los instrumentos. En la figura 51 se representa una porción de la constelación de los Gemelos, en la que se cuentan á la simple vista 7 estrellas; la figura que sigue corresponde á la misma región observada con un anteojo de 20 centímetros de diámetro. De las observaciones de Herschel dedujo Struve que el número total de estrellas que podían columbrarse con el gigantesco telescopio de veinte pies, no bajaba de 20.000.000; los poderosos instrumentos de nuestro siglo indican, sin duda alguna, que, cuando menos, el número total de estrellas visibles está comprendido entre 30.000.000 y 50.000.000.

En época muy remota se clasificaron las estrellas según su brillo aparente ó magnitud; las quince más brillantes se llamaron de 1.^a magnitud; las cincuenta siguientes de 2.^a, y así sucesivamente hasta la sexta, que comprende las más débiles que pueden columbrarse sin usar medios ópticos. El número de estrellas de cada orden de magnitud entre el polo Norte y el paralelo 35 al Sur del ecuador es como sigue:

Hay próximamente de	1. ^a magnitud.				14
»	»	2. ^a	»		48
»	»	3. ^a	»		152
»	»	4. ^a	»		313
»	»	5. ^a	»		854
»	»	6. ^a	»		2.010
Total visibles á la simple vista.					3.391

Este límite comprende todas las estrellas que se ven cómodamente en España y culminan á una altura superior de 15 grados; el número de las de sexta magnitud que pueden verse, depende en gran parte de la vista del observador y del estado atmosférico; en la lista anterior se incluyen todas las que pueden columbrarse por una persona de vista normal, con un cielo despejado y sin luz de la Luna; pero el astrónomo alemán Heis, de quien copiamos la tabla, presumía que podía distinguir además, sin necesidad de cristales, otras 1.964 estrellas.

El método de expresar el brillo de las estrellas por series de números se usa también con las que se llaman telescópicas; la más pequeña que puede columbrarse con un anteojito de 15 centímetros de diámetro, en circunstancias norma-



Fig. 51. — Región de la constelación de los Gemelos, observada á la simple vista.

les, se calcula como de 13.^a magnitud. En la misma escala, las más diminutas que se perciben con los mayores telescopios del mundo se estiman de 16.^a magnitud, pero esto es algo arbitrario. Las medidas del brillo relativo de las estrellas indican que, según decrece la escala de las magnitudes, disminuye en razón geométrica la cantidad de luz emitida, y las estrellas de cada orden se encuentran en general entre dos quintos y un tercio del esplendor de la del orden inmediato precedente. No es esta relación rigurosamente exacta, pero basta para el objeto que nos proponemos; desde la segunda á la quinta magnitud, la disminución probable es de un tercio

en cada magnitud, y luego de dos quintos. Suponiendo exacta esta última relación, hallamos que se necesitan

	2 y media estrellas de 2. ^a magnitud para formar una de 1. ^a
6	» 3. ^a » » »
16	» 4. ^a » » »
40	» 5. ^a » » »
100	» 6. ^a » » »
10.000	» 11. ^a » » »
1 000.000	» 16. ^a » » »

El número de estrellas de las diversas escalas de magnitud varía en una relación que se aparta poco de la inversa á su brillo; así vemos que hay tres veces más estrellas de 2.^a magnitud que de 1.^a, tres veces más de 3.^a que de 2.^a, y luego, algo menos de tres veces de cada magnitud respecto de la inmediata superior. Comparándolas con la tabla de brillo relativo, se deduce que si todas las estrellas se condensaran en una sola, el esplendor de estos cuerpos así reunidos no variaría demasiado uno de otro hasta que se pasara de la 9.^a y 10.^a magnitud. Pero es indudable que, finalmente, disminuiría el esplendor, porque de otro modo no habría límite para el importe total de luz que dan las estrellas, y todo el cielo brillaría tanto como el Sol.

Comprenderá el lector que este arreglo por magnitudes es puramente artificial, y que en realidad las estrellas ofrecen toda clase de magnitudes, variando por gradaciones insensibles, así que es imposible distinguir la estrella más brillante de una magnitud, de la más débil de la categoría inmediata superior. De modo que, cuando los astrónomos quieren expresar las magnitudes con mayor

exactitud, las dividen en tercios y aun en décimos; así, por ejemplo, las estrellas comprendidas entre la sexta y séptima magnitudes se llaman 6.^a,1, 6.^a,2, 6.^a,3 y hasta 6.^a,9 si es menester.

Varias son las tentativas hechas para fundar sobre bases más exactas la clasificación de las estrellas según su brillo; pero el problema no deja de presentar grandes dificultades, porque no hay otro medio de apreciar la luz que emite un objeto, sino por inspección visual; para medir la intensidad relativa de dos luces

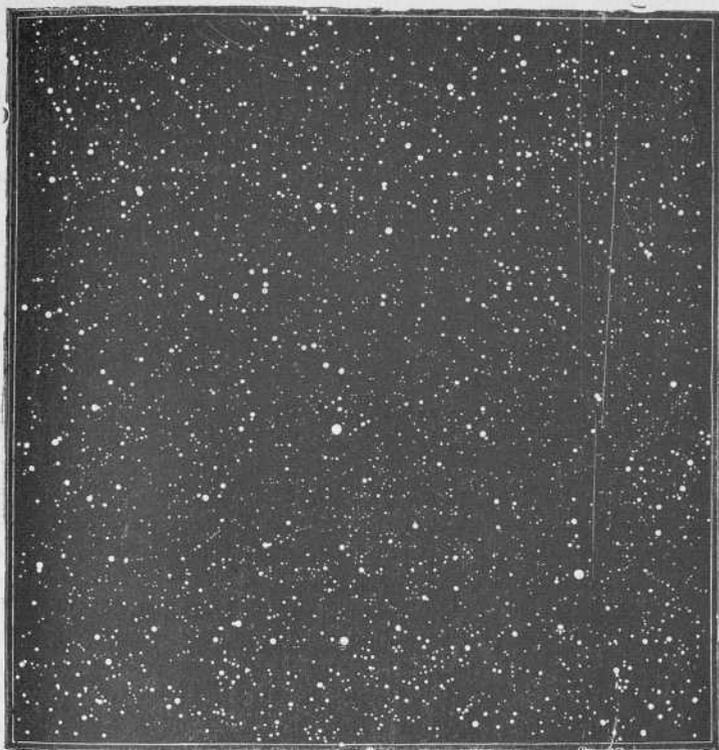


Fig. 52. La misma región de la figura anterior, observada con el telescopio

es necesario disponer de varios instrumentos, con cuyo auxilio pueda modificarse la potencia de una luz, ó de las dos que se comparen, hasta que aparezcan iguales. Estos aparatos se llaman *folómetros*, y los hay de varias formas; los astrónomos se valen principalmente del de Zöllner, con el cual se compara la luz y color de una estrella con otra estrella artificial. Algo se ha hecho ya, para obviar esta falta, por Seidel, de Munich, y como resultado curioso del catálogo de 209 estrellas construído por este profesor, diremos que Sirio brilla para nosotros cuatro veces más que cualquiera otra estrella. También se emplea mucho la cuña de Pickering.

En todas las épocas en que ha florecido la ciencia astronómica, se han for-

mado catálogos de estrellas en los que se marcan sus magnitudes y posiciones en el cielo. El más antiguo que se conoce es el de Ptolemeo, llamado *Almagesto* por los árabes, y que se supone construido por Hiparco de Alejandría 150 años antes de la era cristiana; se dice que lo formó con objeto de que las futuras generaciones pudieran comprobar si se había verificado algún cambio en la conformación de los cielos; su examen demuestra que el aspecto de las constelaciones es hoy día el mismo que hace dos mil años; hay, sin embargo, dos ó tres estrellas en su catálogo que no es posible identificar ahora con toda exactitud; pero se debe atribuir esta dificultad más bien á la imperfección y errores que se han acumulado en las infinitas copias que se hicieron del catálogo durante diez y seis siglos, que no á las modificaciones reales del cielo estrellado. La obra de Hiparco contiene sólo 1.080 estrellas, número inferior al que fácilmente hubiera podido alcanzar con los medios de que disponía.

El siguiente catálogo en orden de fechas es el de Ulugh Beigh, hijo del Tamerlán de Tartaria, quien lo construyó en el siglo xv; la mayor parte de las estrellas son las del catálogo de Ptolemeo, y tan sólo se determinaron de nuevo sus posiciones en el Observatorio de Samarcanda, rival del que algunos siglos antes fundaron los árabes en

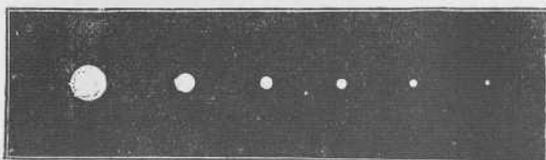


Fig. 53. - Escala de las magnitudes comparativas de las estrellas

Sevilla y que se conoce con el nombre de Giralda; contiene menos estrellas que el de Hiparco. Tycho Brahe, que tantos progresos realizó en el arte de observar, catalogó de nuevo las estrellas, determinando sus posiciones con más precisión que sus predecesores. Este tercer catálogo cuenta 1.005 estrellas.

Después de la invención del antejo se perfeccionó grandemente esta parte de la astronomía; nuestros catálogos modernos pueden dividirse en dos clases. En unos se da la posición de cada estrella en la esfera celeste (ascensión recta y declinación) con toda la exactitud posible; en otros, estos elementos sólo son aproximados, de modo que pueda identificarse una estrella y distinguirla de las demás circunvecinas. Los catálogos de la primera clase son muy numerosos; pero los más exactos han de ser necesariamente incompletos, debido al gran trabajo que exige la determinación precisa de la posición de una estrella. Probablemente hay de quince á veinte mil estrellas catalogadas con astronómica precisión, y unas cien mil cuyas posiciones sólo son aproximadas. Un catálogo de estos últimos, construido por Argelander, comprende unas 300.000 estrellas hasta la 9.^a magnitud, de las que se extienden del polo á 2 grados de declinación austral.

Un examen ligero y superficial basta para hacernos ver que el reparto de las estrellas en la cúpula azulada no es uniforme, y que muchas de ellas, en particular las más brillantes, se encuentran reunidas en grupos irregulares que se conocen con los nombres de constelaciones ó asterismos. En edad muy remota se representaron los cielos cubiertos de figuras de hombres y animales, de

tal manera dispuestas, que abrazaran las principales estrellas de cada constelación; no existe recuerdo histórico de la fecha en que esto se hizo, ni de los principios en que se fundaron los que llevaron á cabo esta clasificación; pero sus nombres parecen⁷ indicar que pertenece á los tiempos heroicos. Algunos

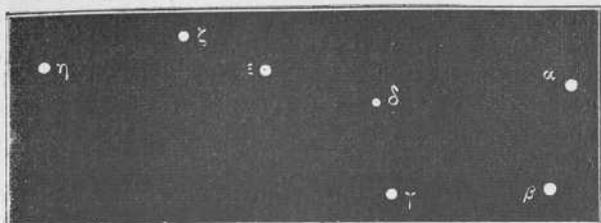


Fig. 54. - La Osa mayor

creen que en ello hay cierta relación con la expedición de los argonautas, porque varios de sus héroes se encuentran representados en el cielo, pero esto no pasa de ser una conjetura; sea el que quiera su origen, han llegado hasta nosotros los nombres de las antiguas constelaciones, sin que por ello tengan importancia alguna astronómica, ni representan los objetos que pretenden significar; verbigracia, la constelación de Hércules se conserva todavía, pero no indica ya la figura de un hombre entre las estrellas, sino una porción irregular del cielo que comprende el espacio en que los antiguos colocaron al semidiós. En los mapas celestes de uso común se marcan aún las figuras y animales de las constelaciones; pero en los que se destinan para objetos puramente astronómicos tan sólo se señala la posición de las estrellas.

La cuestión de saber cómo habría que llamar individualmente á las estrellas de cada constelación, de modo que pudieran distinguirse entre sí, ha ofrecido siempre bastante dificultad; en los antiguos catálogos se reconocían por la parte que ocupaban de la figura de la constelación, y así se decía, el ojo del Toro, la cola de la Osa mayor, el hombro derecho de Orión, etc.

Los árabes adoptaron el plan de dar nombres especiales á toda estrella brillante, tomándolos á veces de los griegos; así tenemos Achernar, Algenib, Sirio, Proción, Aldebarán, etc.; muchos de estos nombres apenas tienen uso en la astronomía, aunque á veces se encuentran en los atlas celestes, y han sido substituídos por letras del alfabeto griego, sistema que se debe á Bayer, que lo adoptó



Fig. 55. - Osa mayor y Osa menor

en 1610; la primera letra se da, por lo común, á la estrella más brillante, y las otras á las que siguen en orden de magnitud; después de la letra se agrega el nombre latino de la constelación en caso genitivo; como alfa Scorpii ó alfa del Escorpión, que es Antares; alfa Lyræ ó alfa de la Lira, que es Wega; beta Geminorum ó beta de los Gemelos, que es Pólux, etc.; lo cual se parece á que el nombre de pila sea la letra griega, y el apellido el nombre latino; agotado el alfabeto griego, se acude al latino, y si éste no basta, á los números arábigos.

Para que el lector pueda familiarizarse con las constelaciones y llegue á determinar á qué asterismo pertenece una estrella brillante cualquiera, vamos á presentar una breve descripción ilustrada de los principales objetos que pueden verse en el cielo en las diversas estaciones.

Conviene empezar por el Norte, esto es, por las constelaciones boreales ó circumpolares, porque éstas son siempre visibles en nuestra latitud. La primera que hay que buscar es la Osa mayor (*Ursa major*) ó el Carro, con cuyo auxilio

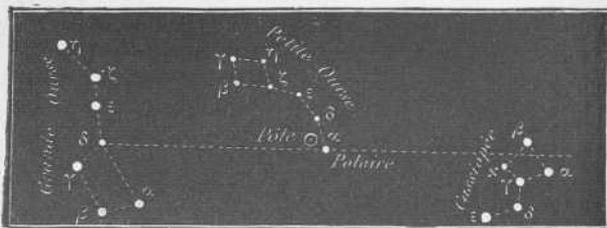


Fig. 56. — Las dos Osas y Casiopea

siempre se encuentra la estrella Polar ó estrella del Norte; supongamos que el observador escoge una noche sin Luna, y que situado en un lugar descubierto y elevado, vuelve la espalda al sitio que el Sol ocupó durante el día; las observaciones comienzan á las nueve de la noche, y á esa hora se encuentra la Osa mayor en

Abril y Mayo	cerca del cenit
Julio y Agosto	hacia la izquierda (Oeste)
Octubre y Noviembre	en el horizonte (Norte)
Enero y Febrero	hacia la derecha (Este)

La figura 54 representa esta interesante constelación que se compone de 7 estrellas principales: alfa, beta, gamma y delta, que forman un trapecio, figuran el cuerpo y las restantes la cola; las dos primeras estrellas, esto es, alfa y beta, se llaman *los punteros*, y tirando de la segunda á la primera una línea imaginaria, y prolongándola como cinco veces el espacio que las separa, se encuentra la estrella del Norte, que es la última de la cola de la Osa menor, cuya figura es igual á la de la constelación anterior, pero inversa; este sistema de hallar las estrellas se llama por enfilaciones. Una línea de la estrella delta de la Osa mayor, que pase por la polar y se extienda al otro lado una distancia igual, nos enseña á Casiopea ó la Silla, constelación compuesta de cinco estrellas principales que figuran una M muy abierta. Si prolongamos la línea anterior otras cinco veces, encontramos el

cuadrado de Pegaso, y debajo de las dos constelaciones está Andrómeda y á su lado Perseo. La última estrella del cuadrado de Pegaso viene á ser la primera de Andrómeda; la estrella alfa de Perseo, que se encuentra en la prolongación de las tres estrellas principales de Andrómeda, tiene á cada lado otras dos me-

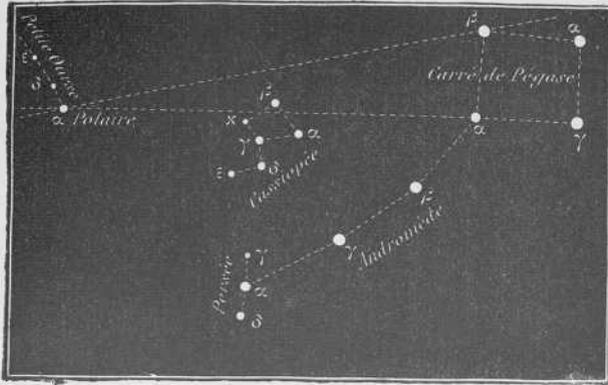


Fig. 57. - Casiopea, Pegaso y Andrómeda

nos brillantes, que forman un arco cóncavo fácil de percibir, el cual va á servirnos para una nueva enfilación; prolongándolo hacia la estrella delta, se encuentra una estrella muy brillante de 1.^a magnitud, que es la Cabra (fig. 58); formando un ángulo recto con esta prolongación hacia la parte del Mediodía, tropezamos con las Pléyades ó Cabrillas. En la figura 59 pueden verse además las constelaciones circumpolares de Cefeo, el Dragón, la Jirafa y el Lince. Prolongando la cola de la Osa mayor y con su misma curvatura, se encuentra una hermosa y brillantísima estrella, que es Arcturo y corresponde á la constelación del Boyero; sobre ésta se halla la Corona boreal, que forma un semicírculo.

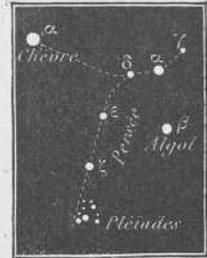


Fig. 58. - La Cabra y las Pléyades

Debido al movimiento aparente del Sol á través de las estrellas, no es posible ver siempre las constelaciones que distan mucho del polo, y hay que buscarlas en determinadas estaciones y á horas convenientes. Vamos á describir las constelaciones más notables que pueden verse en España, en cuatro posiciones distintas de la esfera estrellada; en el espacio de veinticuatro horas toma la esfera estas cuatro posiciones en virtud del movimiento diurno, pero algunas de ellas ocurren en pleno día y otras en hora muy avanzada de la noche ó poco antes de la salida del Sol.

Primera posición, Orión en el meridiano. El aspecto del cielo es el mismo en las cuatro fechas siguientes:

Diciembre.	21 á media noche.
Enero.	21 á las 10 de la noche.
Febrero.	20 á las 8 de la noche.
Marzo.	21 á las 6 de la tarde.

La constelación de Orión es muy fácil de reconocer (fig. 61), aunque sólo sea porque tiene en su centro tres estrellas notables que se conocen vulgarmente como las tres Marías ó el Cinturón de Orión. Prolongando hacia arriba la línea que une las tres estrellas citadas, se encuentra Aldebarán, alfa ó el Ojo del Toro,

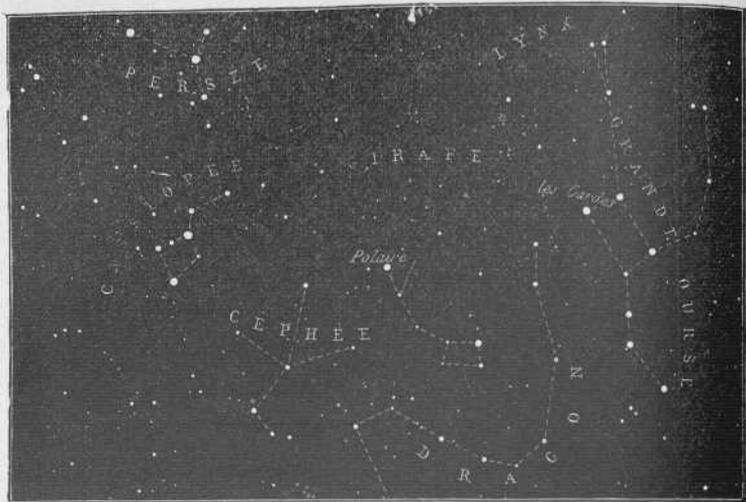


Fig. 59. - Constelaciones circumpolares

y prolongando hacia abajo la misma línea, tropezamos con la estrella más brillante del cielo, que es Sirio, y pertenece al Perro mayor. Proción ó alfa del Perro pequeño, Sirio y Betelgeuze forman un triángulo equilátero. Al Oeste de Orión se encuentran el Eridano y la Ballena.

Segunda posición, el León mayor en el meridiano. Esta constelación parece

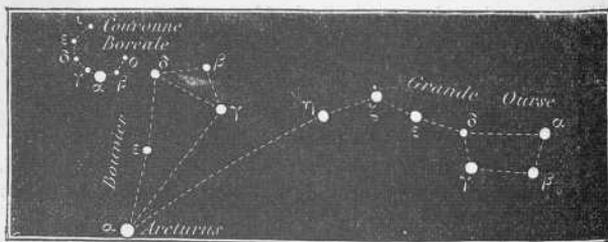


Fig. 60. - Osa mayor, Arcturo y la Corona boreal

una hoz, según se hallan dispuestas las estrellas; la más brillante es Régulo, de color rojizo, que se encuentra como en el mango. Cástor y Pólux brillan hacia el Noroeste; cerca del horizonte se encuentra Proción, y más al Sur la Hidra con su cabeza y su corazón (alfa Hydræ); algo al Este de la constelación del León se distingue la cabellera de Berenice, y debajo y hacia el Sur aparece la Virgen con la Spica.

Tercera posición, el Boyero en el meridiano. Volvemos á encontrar esta constelación con su estrella Arcturo; más al Norte se distingue la Osa mayor, al



Fig. 61. - Constelaciones de invierno

Nordeste el Dragón, al Este Hércules y hacia poniente el León y debajo la Virgen.
Cuarta posición. Se observan ahora varias constelaciones interesantes; el Pe-

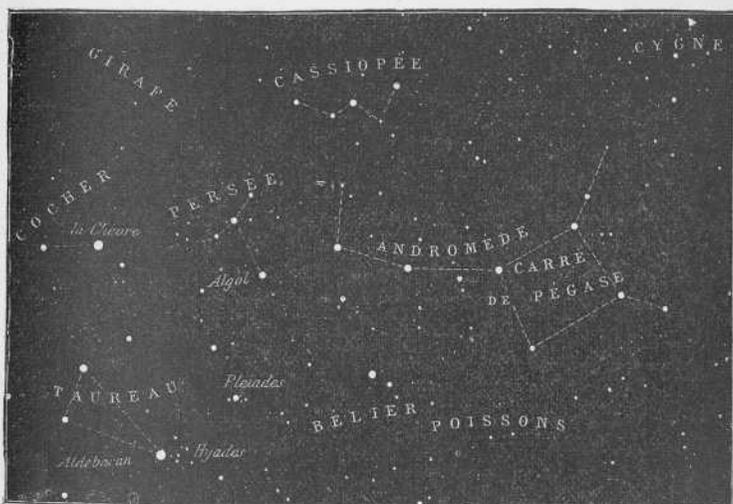


Fig. 62. - Constelaciones de invierno

gaso, Acuario, el Aguila con su brillante estrella Atair, el Cisne ó la Cruz, la Lira con la hermosa Wega, etc.

Terminaremos nuestra descripción con las estrellas visibles en la zona austral de la Tierra, y que no pueden columbrarse desde España porque giran á

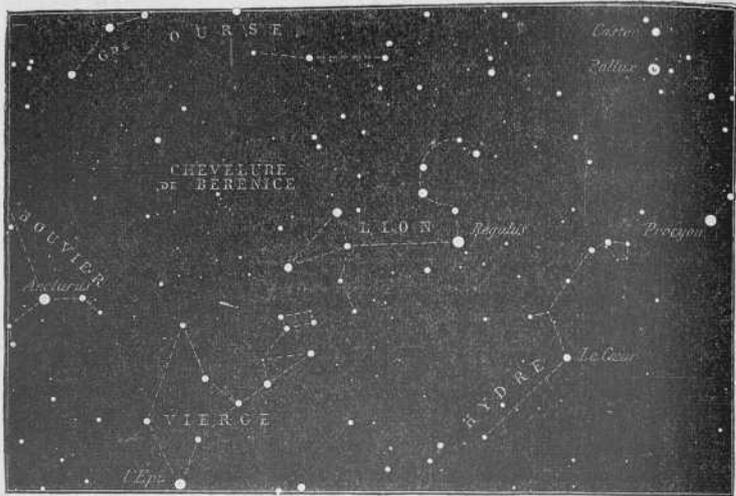


Fig. 63. - Constelaciones primaverales

muy corta distancia del polo antártico, sin asomar nunca por el horizonte, y se llaman circumpolares australes. Las principales son Argus ó el Navío con su es-



Fig. 64. - Constelaciones estivales

trella Cánope, visible desde la parte meridional de España la Cruz del Sur, el Centauro, el Indio, los Peces australes, de los que se puede ver á Fomalhaut, etc.

Casi todas las estrellas aparecen siempre con igual brillo, aunque es muy posible que, si se mediera con toda exactitud la cantidad de luz que cada una de

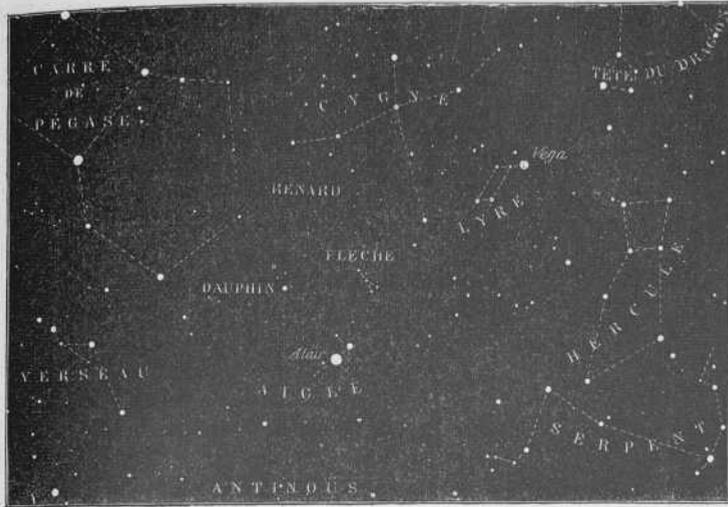


Fig. 65. - Constelaciones autumnales

ellas emite, se notaran ciertas variaciones de tiempo en tiempo. Hay, sin embargo, unas cuantas que presentan cambios de esplendor muy apreciables, que se

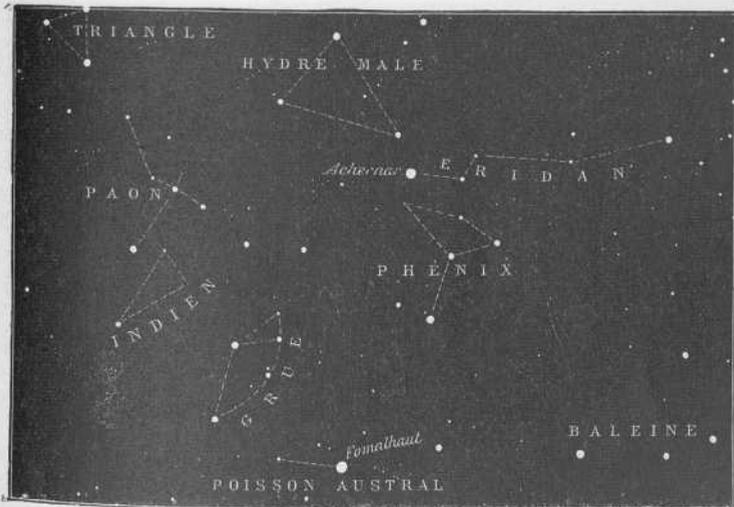


Fig. 66. - Constelaciones australes

han observado comparando su brillo aparente con el de otras estrellas, y en la actualidad se conocen más de seiscientos de esta clase ó grupo; pero, en la

mensa mayoría de los casos, es tan pequeña la variabilidad, que tan sólo puede discernirse con gran atención y por un observador acostumbrado á este género

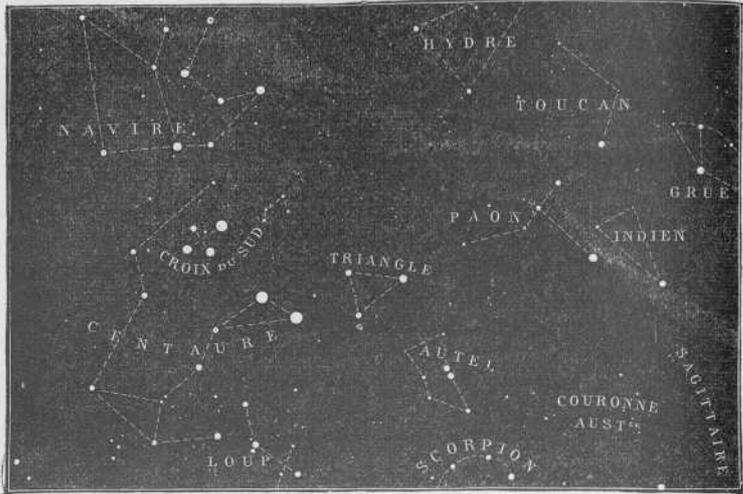


Fig. 67. - Constelaciones australes

de estudios; no obstante, á cualquier aficionado le es fácil percibir las variaciones que sufren las estrellas beta Persei y omicron Ceti (Algol y Mira), si las ob-

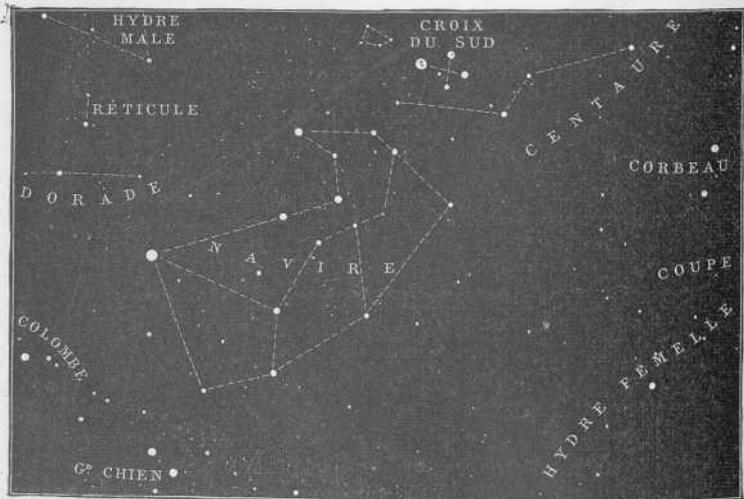


Fig. 68. - Constelaciones australes

serva en ocasiones propicias; también podríamos agregar la eta Argus del hemisferio austral, que presenta unas alternativas en su brillo verdaderamente notables.

La estrella Algol ó beta Persei se encuentra con facilidad en el cielo, siguiendo las instrucciones que dimos antes sobre este punto; á su lado se hallan dos estrellas más pequeñas. Las estaciones más favorables para observarla son las de otoño, invierno y primavera, en las primeras horas de la noche; en el otoño, después de la puesta del Sol, se halla por lo general muy baja en el horizonte del Nordeste; en el invierno en la parte Norte y muy cerca del cenit, y en la primavera en el horizonte del Noroeste. Por lo común brilla como una débil estrella de 2.^a 5 magnitud; pero, con intervalos de menos de tres días, desciende hasta la cuarta magnitud por pocas horas, y en seguida vuelve á tomar su brillo ordinario.

Se notaron por primera vez estos cambios hace unos dos siglos, pero hasta el año 1782 no se principiaron á hacer sobre este punto observaciones esmeradas; hoy día se sabe que su período de variabilidad es de 2^d 20^h 49^m, esto es, 3^h 11^m menos de tres días. Invierte próximamente cuatro horas y media en alcanzar su brillo mínimo, y cuatro horas más en recuperar su esplendor primitivo, de suerte que, durante nueve horas y media en cada período, permanece con brillo inferior al normal; pero cerca del comienzo y del fin de las variaciones, son muy lentos los cambios; así que sólo durante cinco ó seis horas puede percibirse que la estrella presenta menor brillo que de ordinario.

La aparente regularidad de estos cambios de luz hizo creer, al principio, que algún planeta opaco y de gran tamaño giraba en torno de Algol, pasando por delante de la estrella á cada revolución; esta teoría satisface bastante bien á los principales caracteres del fenómeno; pero cuando se estudiaron las variaciones con más asiduidad, se observó que se presentaban varias irregularidades pequeñas, que no explicaba la teoría; se averiguó que el período de la variabilidad general cambiaba de vez en cuando, y que la estrella no recobraba su primer brillo de igual modo que lo perdía y como debiera suceder si fuese eclipsada por un planeta que no llegara á ocultarla por completo.

Otra estrella variable, pero de un tipo completamente distinto, es omicron Ceti (Mira, *la maravillosa*). Esta estrella es casi siempre invisible á la simple vista; pero en intervalos de unos once meses, poco más ó menos, brilla tanto como si fuera de 2.^a á 3.^a magnitud; por término medio transcurren cuarenta días desde que por primera vez se hace visible hasta que adquiere su esplendor máximo, y luego necesita unos dos meses para volver á ser invisible, de modo que aparece con más rapidez que se extingue; su máximo de esplendor es también variable, pues unas veces llega á la 2.^a magnitud y otras tan sólo á la 3.^a ó á la 4.^a

Quizás la estrella variable más extraordinaria que se conoce en los cielos es eta Argus, situada en el hemisferio austral á 59^o de declinación; siendo tan con-

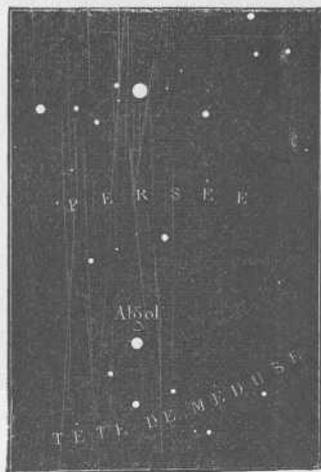


Fig. 69. — Algol, estrella variable de la constelación de Perseo

siderable su distancia al ecuador, no es posible verla en nuestras latitudes, y su descubrimiento y las observaciones de sus cambios de luz se han efectuado, por lo común, por los astrónomos que han permanecido en el hemisferio antártico de la Tierra. En 1677, Halley, que observaba en la isla de Santa Elena, la clasificó como de 4.^a magnitud; Lacaille en 1751 observó que había crecido en brillo, estimándola de 2.^o; de 1828 á 1838 osciló entre la primera y segunda magnitud. Las primeras observaciones exactas de su variabilidad se deben á Juan Herschel, que las hizo durante su permanencia en el Cabo de Buena Esperanza; dice así: «El 16 de diciembre de 1837, cuando me ocupaba en resumir mis observaciones fotométricas, llamó mi atención el aspecto de un nuevo candidato que se presentó entre las más brillantes estrellas de primera magnitud, en una región del cielo en que, por serme muy familiar, tenía certidumbre de que no se encontraba antes. Tras una ligera vacilación, consecuencia natural de fenómeno tan inesperado, acudí á una carta celeste para ver su configuración respecto de las estrellas inmediatas, y encontré á mi antigua conocida eta Argus; su luz era, no obstante, tres veces superior; cuando estaba próxima al horizonte, se igualaba á Rigel; pero al llegar á cierta altura, era sin duda alguna más brillante.» Afirma Herschel que siguió aumentando su resplandor hasta el 2 de enero de 1838, época en que rivalizaba con alfa Centauri; disminuyó entonces alguna cosa hasta la terminación de las observaciones de Herschel á fines de abril,



Fig. 70. — La estrella variable eta Argus en su esplendor máximo

siendo, no obstante, su brillo comparable al de Aldebarán. Pero en 1842 y 1843 volvió á crecer en luminosidad hasta tal extremo, que en el mes de marzo tan sólo era inferior á Sirio. Durante los veinticinco años siguientes disminuyó de un modo considerable, aunque con lentitud; en 1867 apenas era visible á la simple vista, y al año siguiente sólo se columbraba valiéndose de instrumentos. La fig. 71 representa, según Loomis, la curva probable de estos cambios cuyo período es de 70 años próximamente. La forma de la curva de 1811 á 1870 se apoya en observaciones directas, y las otras dos observaciones, de Halley en 1677 y Lacaille en 1751, se encontrarían representadas por la misma curva repetida en época anterior.

Al decir que esta estrella era la más notable de las que se conocían como de brillo periódico, no nos referíamos exclusivamente á las oscilaciones de su período, sino á su esplendor cuando se encuentra en su máximo. Se conocen otros varios casos de grandes variaciones, pero no llegan á ser tan brillantes las estrellas, y por lo tanto, se fija en ellos menos la atención; así, la estrella R Andromedæ varía de la sexta á la décimatercera magnitud, en un período, médianamente regular, de 405 días. Al encontrarse en su máximo, brilla precisamente lo bastante para que se pueda percibir á la simple vista, y sólo con poderosos telescopios se la columbra al alcanzar su mínimo. Otras cuantas estrellas varían

entre la 5.^a y 6.^a magnitud, pero de éstas nada más que omicron de la Ballena alcanza la segunda magnitud.

Las estrellas mencionadas son las únicas cuyas variaciones pueden interesar á los aficionados; entre los cientos restantes descubiertos por los astrónomos, es notable beta Lyrae porque presenta dos máximos y dos mínimos de brillo desigual; en su mínimo mayor es de 4.^a₅ magnitud y aumenta en tres días hasta ser de 3.^a_{1/2}; y en el curso de la semana siguiente desciende primero á la 4.^a magnitud y aumenta de nuevo hasta la 3.^a_{1/2}; tres días después vuelve á disminuir á la 4.^a_{1/2}, siendo el período completo de estos cambios de unos trece días, período que aumenta constantemente. Los cambios de esta estrella pueden observarse mejor, comparándola con su vecina gamma Lyrae; á veces parecerán de igual brillo y en otras ocasiones de una magnitud menor una que otra.

En las estrellas periódicas se observan como dos especies de variabilidad; en

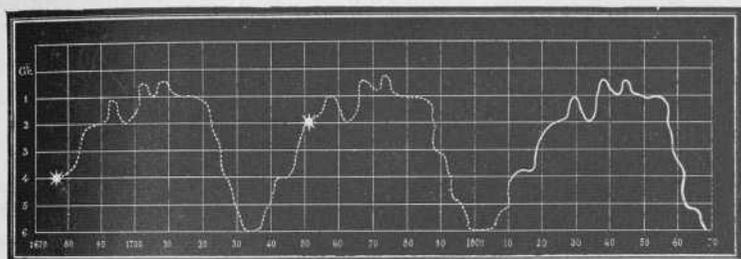


Fig. 71. — Curva de la variabilidad de eta Argus en un período de setenta años, según Loomis

unas, el crecimiento y la disminución tienen lugar de un modo continuo, y por decirlo así, insensible; otras se distinguen por sus rápidos y bruscos cambios. En la fig. 72 se representan dos ejemplos de estas dobles variaciones; una de las curvas manifiesta la mayor parte del período de R de Ofiuco, que es de 304 días; pertenece á la categoría de las estrellas de variaciones lentas. La otra curva es la de upsilon Geminorum y denota, por el contrario, una estrella como Algol, ó sea de las que pertenecen al tipo de las variaciones rápidas.

Llegó á creerse algún tiempo que no era cosa demasiado rara que aparecieran nuevas estrellas, y que otras antiguas y bien conocidas se extinguieran, considerándose que las primeras eran creadas nuevamente y que la desaparición de las segundas se debía á su propio aniquilamiento ó destrucción, por haber cumplido el término fijado á su existencia.

Las supuestas desapariciones de estrellas no tienen, sin embargo, fundamento cierto y deben atribuirse á errores cometidos al asignarles su posición en el cielo. Explicamos antes, aunque de paso, que los astrónomos determinan la posición de un cuerpo en el cielo observando en el reloj ó péndulo la hora de su paso por el meridiano y la posición del círculo de su instrumento al dirigir el anteojo al astro. Si comete un error al apuntar en su cuaderno estos números, y, verbigracia, pone que la hora del péndulo atrasaba ó adelantaba uno ó más minutos, ó cambia los grados del círculo por los minutos ó segundos, llega á sen-

tar una posición de un astro que en realidad no existe en el cielo. De modo que, pasado algún tiempo, cuando va otro astrónomo á buscar esta estrella y no la encuentra, llega á creerse que ha desaparecido, cuando en realidad en aquel punto jamás hubo estrella alguna.

Y no hay que extrañar estos errores, puesto que se trata de anotar miles y miles de guarismos con infinitas correcciones, á cuyos errores hay que atribuir las desapariciones de estrellas que ocurren de vez en cuando.

Pero como, bien se deba á esta ó á la otra causa, es lo cierto que á lo mejor

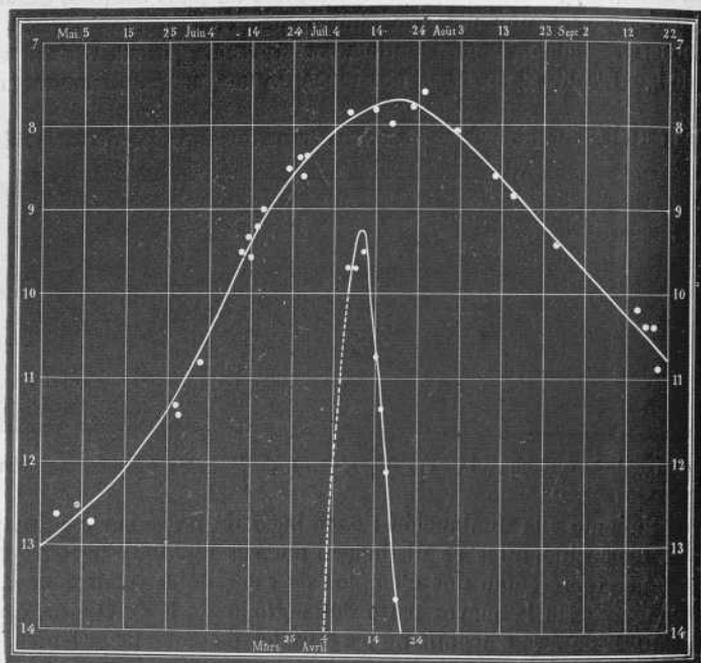


Fig. 72. - Curva de las variaciones de esplendor de las estrellas periódicas: R Ophiuchi y upsilon Geminorum

se ven brillar de un modo inusitado algunas estrellas que se llaman nuevas ó efímeras, se hace necesario que digamos algunas palabras acerca de este fenómeno, ó cuando menos, de las apariciones más notables. Tal es el cuerpo que, apareciendo de pronto en el año 125 antes de J. C., indujo á Hiparco á formar un catálogo de estrellas, el más antiguo de que hay memoria y del que ya hicimos mención. Tal fué también la estrella que se dejó ver el año 389 cerca de alfa Aquilæ, permaneciendo por espacio de tres semanas tan brillante como Venus y desapareciendo luego enteramente. En los años 495, 1264 y 1572 aparecieron también otras estrellas en la región celeste comprendida entre Cefeo y Casiopea; y según la imperfecta noticia que nos ha quedado de los lugares de las dos primeras, comparadas con la posición de la última, que se determinó con seguri-

dad, como asimismo por la coincidencia bastante aproximada de los intervalos de sus apariciones, podemos muy bien sospechar que todas ellas eran una misma estrella, con un período de cerca de 300 años, ó según la suposición de Goodricke, de 150. La aparición de la estrella de 1572 fué tan repentina, que Tycho Brahe, volviendo una noche (el 11 de noviembre) del observatorio á su casa, se quedó sorprendido viendo un grupo de gentes del campo que contemplaban con admiración una estrella, que él por su parte estaba seguro de que no existía media hora antes. Era ésta la estrella citada, que aparecía entonces brillante como Sirio, y continuó aumentando en esplendor hasta superar á Júpiter en su máximo brillo, siendo visible en medio del día. Se le llamó *la Peregrina*, y según las palabras de Tycho, tan sólo podía compararse con Venus en cuadratura. Empezó á venir á menos en diciembre del mismo año, y en marzo de 1574 había desaparecido completamente. Tuvo lugar esta ocurrencia unos cuarenta años antes del descubrimiento del anteojo.

En 1604 se vió un fenómeno semejante en la constelación de Ofiuco; notóse primero la estrella en octubre de aquel año, cuando alcanzó la 1.^a magnitud; en el invierno siguiente principió á desvanecerse, pero permaneciendo visible todo el año 1605; al comenzar el de 1606 desapareció completamente, habiendo durado poco

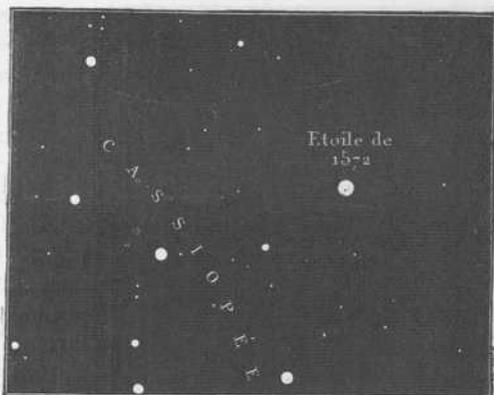


Fig. 73. — La Peregrina: estrella efímera que apareció en la constelación de Casiopea en 1572

más de un año. Keplero nos ha legado una detallada historia de este suceso.

Fenómenos semejantes, aunque no de tan brillante carácter, se han observado en época más moderna, como en el caso de la estrella de 3.^a magnitud descubierta en 1670 por Anthelm en la cabeza del Cisne; la cual, después de haberse perdido completamente de vista, reapareció, y habiendo experimentado una ó dos fluctuaciones singulares de luz, se apagó al cabo, de modo que no ha vuelto á verse. Asimismo, practicando un nuevo y escrupuloso examen del cielo, y comparando sus resultados con los catálogos, se echan de menos muchas estrellas; y si bien es cierto, como dijimos, que estas faltas han dimanado no pocas veces de errores de observación y anotación en los registros, es igualmente seguro que nuevas estrellas se han observado realmente, y realmente han desaparecido del cielo.

Uno de estos casos indudables ocurrió en el mes de mayo de 1866, cuando una estrella de 2.^a magnitud apareció súbitamente en la Corona boreal. El 11 y el 12 de este mes se observó, á lo menos por cinco astrónomos, y con completa independencia, tanto en Europa como en América. El que haya aparecido de un modo tan repentino como parece indicar la prontitud con que fué notada, no

se encuentra muy bien comprobado. Si, como parece más probable, invirtió varios días en llegar á obtener su brillo máximo, corresponde el mérito de su descubrimiento á un profesor americano, Mr. Hallowell, quien la vió muchos días antes que la generalidad de los observadores. De otro lado, el famoso Schmidt, de Atenas, asegura del modo más terminante que el 10 de mayo no se encontraba la estrella en el lugar en donde luego apareció, puesto que él andaba investigando precisamente aquella parte del cielo y no hubiera dejado de columbrarla. El 12 de mayo parecía la estrella de 2.^a magnitud, y por lo tanto, de igual brillo que la Perla; en varios días descendió á la 3.^a, 4.^a y 6.^a, de modo que el 20 del mismo mes ya no era visible á la simple vista; con el telescopio se observó que siguió decreciendo hasta la 10.^a magnitud, luego volvió á reanimarse, alcan-

zando un brillo como de 7.^a ú 8.^a. La curva de sus variaciones se representa en la figura 75, calculada por Baxendell, desde el 14 de mayo hasta el 29 de noviembre; en esta última fecha era aún inferior á la 8.^a magnitud.

En noviembre de 1876 percibió el mismo Schmidt una nueva estrella de 3.^a magnitud en la constelación del Cisne; pronto comenzó á desvanecerse, desapareciendo de la vista en pocas semanas; la posición de este asterismo era tan poco favorable en noviembre, que sólo algunos astrónomos pudieron observar la estrella.

En estos últimos años, con la extensión que ha adquirido el culto de la Astronomía, son varias las estrellas nuevas descubiertas.

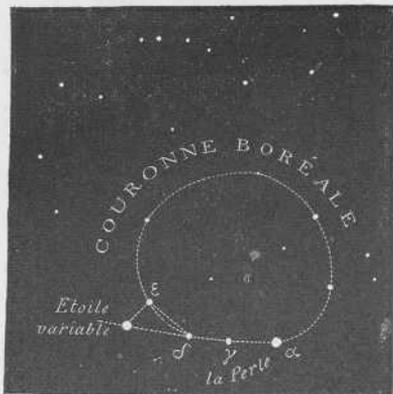


Fig. 74. - Estrella efímera ó variable de la Corona boreal el 12 de mayo de 1866

La hipótesis de que estos cuerpos puedan ser nuevas creaciones que en lo sucesivo permanezcan entre las demás estrellas, se refuta completamente, entre otras razones, por su carácter transitorio. Su efímera existencia aparente se halla en abierta oposición con la permanencia é inmutabilidad general de las estrellas, que pasan de uno á otro siglo con sus mismas figuras y posiciones. Las estrellas efímeras se consideran hoy día por los astrónomos como simplemente variables ó periódicas, si bien sus cambios se realizan en un período irregular y desconocido; no es posible dejar de creer que todas ellas se encontrasen á un mismo tiempo en el cielo, como estrellas pequeñísimas, antes de adquirir el extraordinario brillo que las hizo estudiar con tanto afán, y que hoy día ocupen de igual manera, aunque invisibles, el propio sitio. La posición de la estrella de 1572 fué cuidadosamente determinada por Tycho Brahe, y como estrella telescópica puede aún observarse á 1 minuto del lugar que le asignó el gran astrónomo dinamarqués; la estrella de 1866 se encuentra consignada como de 9.^a magnitud en el gran catálogo de Argelander, de las estrellas de la zona boreal. Después de crecer del modo que indicamos, disminuyó gradualmente hasta llegar á su insignificancia primera, en la cual permanece, sin manifestar indicios de que por ahora

vuelva á mostrarse vigorosa. Entre estas variaciones irregulares ó repentinos aumentos luminosos, y los cambios regulares de Algol y beta Lyrae, hay una gran diferencia. Pero las delicadas observaciones de los hábiles astrónomos que se han consagrado á este género de estudios nos enseñan que hay estrellas que poseen todos los grados imaginables de irregularidad entre ambos extremos; unas cambian gradualmente de brillo en el curso de varios años, sin seguir ley determinada de ninguna clase, mientras que otras manifiestan cierta tendencia á la regularidad, la que, si bien con trabajo, llega á comprobarse. El mejor enlace ó eslabón que parece existir entre las estrellas nuevas ó efímeras y las variables nos lo ofrece eta Argus, que antes describimos.

Es probable que las variaciones de luz de que hemos hablado dependan de

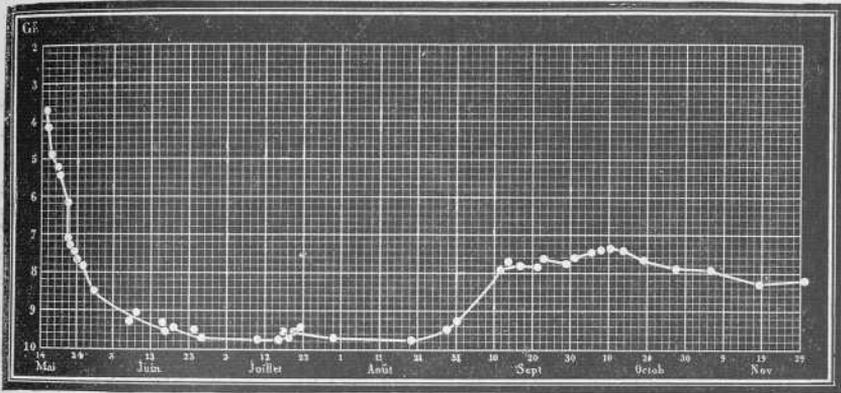


Fig. 75. - Curva de las variaciones luminosas de la estrella T Coronæ borealis

modificaciones de la estrella misma, ó de su propia naturaleza, puesto que sabemos que las estrellas son cuerpos de igual orden que nuestro Sol, en cuanto á sus magnitudes y brillo, y que, por lo tanto, pueden estar sujetas á las mismas influencias que dan origen á las manchas de nuestro luminar. En los capítulos que dedicamos al Sol, demostramos que las manchas solares indican un período de unos once años, durante el cual hay una época de mínima y otra de máxima, ó lo que es lo mismo, que á intervalos regulares aparece la fotosfera completamente limpia, cubriéndose luego de manchas grandes y numerosas. De modo que si un observador se encontrase en el espacio estelar muy lejos de nosotros, y tanto, que el Sol le pareciera una estrella, un punto luminoso, podría de vez en cuando efectuar algunas medidas fotométricas que le indicarían que nuestro gran luminar era una estrella variable de período constante de once años, correspondiendo su mínimo al período de muchas manchas, y su máximo al de tranquilidad y pocas manchas.

Las variaciones son, empero, tan pequeñas, que apenas podemos percibir las aunque nos valgamos de los fotómetros más delicados, pero no deja de existir por eso; la analogía general del universo y los testimonios del análisis espectral nos obligan á creer que la constitución física del sol y las estrellas es una mis-

ma, por manera que podemos suponer que así como se ve que las manchas del Sol varían de forma, número y tamaño de un día al siguiente, del propio modo, si nos fuera dable examinar de cerca la superficie de las estrellas, hallaríamos, al menos en algunas, manchas semejantes. Es también muy probable que, debido á las diferencias de constitución física de estos cuerpos, el número y la extensión de las manchas no sea igual en todas las estrellas, de modo que si cubrieran una gran parte de la superficie, perdería el astro dos ó tres números en la escala de las magnitudes. Finalmente, tan sólo tenemos que suponer la misma clase de regularidad, que muestra el ciclo de once años de las manchas solares, para darnos cuenta de las variaciones de brillo de una estrella de período regular, como ocurre con Algol y Mira Ceti.

CAPITULO II

LAS ESTRELLAS CON EL TELESCOPIO

Estrellas dobles y múltiples. — Cúmulos de estrellas. — Distancias de las estrellas.
Movimientos propios de las estrellas

El examen telescópico nos revela que muchas estrellas que á la simple vista parecen únicas, son en realidad dobles, ó compuestas de un par de ellas muy unidas, para que puedan separarse sin auxilios ópticos. Hay en los cielos varios pares de estrellas cuyas componentes se encuentran tan inmediatas, que á la simple vista es muy difícil separarlas; uno de los más fáciles de resolver es el de la estrella zeta de la Osa mayor, que va acompañada de otra pequeñita, llamada por los árabes Alcor, que quiere decir probadora de la vista; es también cómodo, y por lo demás muy hermoso, el par que forman las estrellas theta¹ y theta² del Toro, muy cerca de la brillante Aldebarán; otro par es el de alfa Capricorni, en el que son desiguales las magnitudes de las estrellas; el observador que distinga la estrella pequeña puede hacer gala de buena vista, y de bonísima, por no decir inmejorable, el que columbre sin auxilio alguno el estrecho par epsilon Lyræ (fig. 76-1); pero difícilmente habrá lector de la ASTRONOMÍA POPULAR que pueda realizar esta proeza; analizada la estrella con un anteojo mediano, se percibe como muestra la fig. 76-2.

Estos pares, sin embargo, no se consideran dobles en astronomía, porque aunque á la simple vista parecen tan inmediatas las estrellas componentes, cuando se observan con un anteojo poderoso se separan de tal modo, que no caben en el campo del instrumento á un mismo tiempo.

Las componentes que forman las estrellas dobles telescópicas sólo distan entre sí unos cuantos segundos (32") y en algunos casos tan sólo fracciones de segundo; la inmensa mayoría de las que se encuentran catalogadas como dobles distan por término medio una de otra de medio á quince segundos. Cuando exceden del último límite, dejan de ser objetos de interés particular, porque en realidad no tienen entre sí conexión alguna y aparecen juntas por una mera yuxtaposición casual.

De modo que aquí se ofrece una duda; la de saber si entre las estrellas dobles hay algún enlace real, ó si aparecen juntas por casualidad y por encontrarse en la misma línea visual que tiramos desde la Tierra; que algunas estrellas aparezcan dobles por esta causa, no es dudoso, y entonces se llaman *dobles ópticamente*. Pero, á pesar del número inmenso de estrellas visibles, las probabilidades de que varios pares se encuentren á la corta distancia de algunos segundos es muy remota, y el número de estrellas dobles íntimas es tan conside-

nable, que este solo hecho basta para rechazar el supuesto de que su agrupación dependa del acaso. Si alguna otra prueba pudiera necesitarse para confirmarnos en la idea de que estas estrellas se encuentran enlazadas físicamente, y

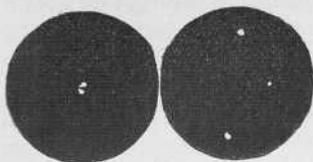


Fig. 76. - 1. Estrella doble epsilon Lyrae á la simple vista. - 2. Epsilon Lyrae, vista con un anteojo de poca fuerza.

tan unidas en realidad como en la apariencia, nos la suministraría el hecho de que muchas de ellas constituyen sistemas en los que una de las componentes gira alrededor de la otra, ó hablando con más exactitud, en que cada una gira en torno del centro común de gravitación. Estos pares se llaman *sistemas binarios*, para distinguirlos de los que no presentan semejante movimiento de revolución. El período en que verifican su revolución estos sistemas es, por lo general, muy largo y exige muchos siglos para cumplirse; y mientras mayor es su lentitud, más tiempo se necesita para percibir su movimiento y más todavía para determinarlo. Generalmente se han descubierto por los astrónomos de una generación, comparando sus observaciones con las de sus predecesores; por ejemplo, cuando Struve el mayor comparó sus observaciones con las de Herschel, y

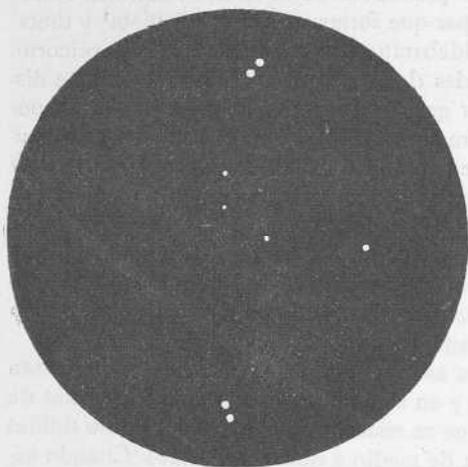


Fig. 77. - Epsilon Lyrae desdoblada segunda vez con un anteojo más poderoso

cuando luego Dawes y Struve el menor repitieron el mismo procedimiento, llegó á descubrirse un gran número de pares que formaban combinaciones binarias; como los astrónomos están descubriendo constantemente nuevos casos de movimientos, el número de los sistemas binarios aumenta de un modo extraordinario.

Indicaremos muy sucintamente de qué medio se valen los astrónomos para medir las distancias y posiciones relativas de estas estrellas. En el ocular del anteojo se inserta un micrómetro filar, que en esencia consiste en dos hilos de araña paralelos, fijo el uno, y el otro movable por medio de un tornillo, cuyas vueltas indican la distancia angular que separa los dos

hilos; todo el aparato gira alrededor del eje óptico del anteojo, y para hallar la dirección de una estrella respecto de la otra, hay que valerse de un círculo graduado que lleva el instrumento y que se llama círculo de posición.

El período de algunos sistemas binarios es tan corto, que se ha podido observar una revolución completa, y á veces más, de las dos estrellas una en torno de otra. Por regla general los pares que tienen el movimiento más rápido son los más estrechos, y por lo tanto, de descubrimiento reciente, y muy difíciles

de observar; se sospecha que uno ó dos son de período inferior á treinta años.

La siguiente lista indica los períodos de revolución de algunas estrellas binarias que se han observado durante una revolución completa, ó que á lo menos se han calculado con bastante exactitud.

42 Comæ.	26 años.
Zeta Herculis.	35 »
Struve 3121.	40 »
Eta Coronæ.	40 »
Sirio.	50 »
Zeta Cancri.	58 »
Xi Ursa majoris.	63 »
Alfa Centauri.	77 »
Mu Ophiuchi.	92 »
Lambda Ophiuchi.	96 »
Xi Scorpii.	98 »

Como indica la lista anterior, zeta Herculis es uno de los sistemas binarios de período de revolución más corto; se han calculado varias órbitas por Maedler, Villarceau, Plummer y Fletcher, que ofrecen ligeras diferencias; lo cual no debe extrañarnos, puesto que tan sólo nos es dado observar las posiciones aparentes de la estrella satélite respecto de la principal, que se supone inmóvil. Uniendo por medio de una línea las posiciones sucesivas de la primera, se obtiene la órbita aparente, es decir, la proyección de la órbita real sobre un plano perpendicular al rayo visual; si el plano de la órbita coincidiese con este último, habría identidad entre ambas curvas; pero, como ocurre generalmente, el plano de la órbita verdadera se encuentra inclinado sobre el de la otra, de modo que la observación revela una curva más ó menos prolongada que la verdadera.

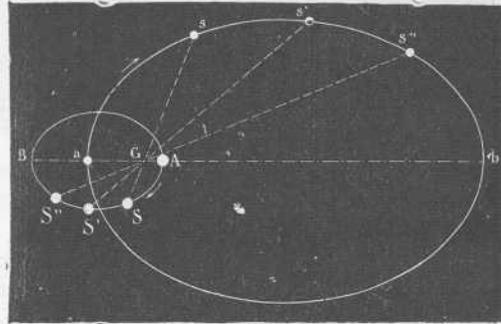


Fig. 78. — Órbitas descritas por las componentes de un sistema binario en torno del centro común de gravedad.

Una de las estrellas más notables de la lista anterior es Sirio, cuyo período se ha calculado, no por las observaciones del satélite, sino por los movimientos de la estrella primaria; se conocía, ya hacía mucho tiempo, que el movimiento propio de este cuerpo se hallaba sujeto á ciertas variaciones periódicas, que fueron investigadas por Peters y Auwers; estos astrónomos demostraron que podían representarse con toda fidelidad, suponiendo que un satélite girase alrededor de Sirio, en una órbita determinada. Se apreciaron sus elementos, menos la distancia del satélite, que no era susceptible de tal determinación. Su dirección sí se podía comprobar de vez en cuando, con tanta exactitud como si realmente se viera en el campo del anteojo, por más que en la época á que aludi-

mos, nadie había llegado á tener esta dicha, aunque muchos astrónomos procuraban descubrir el satélite, valiéndose de sus instrumentos más poderosos; pero sin duda sus investigaciones no eran demasiado minuciosas.

Este era el estado de la cuestión en febrero de 1862, en cuya fecha daban los famosos ópticos americanos Alvan Clark é hijos los últimos toques á un hermoso antejo de 18 pulgadas, con destino al Observatorio de Chicago; dirigiendo una noche hacia Sirio el magnífico objetivo, con idea de probar sus cualidades ópticas, el ojo práctico del joven Clark pronto percibió alguna cosa extraordinaria. «¿Qué es esto, padre, exclamó, la estrella tiene una compañera?» Observó entonces el padre, y pudo en efecto distinguir un satélite al Este de

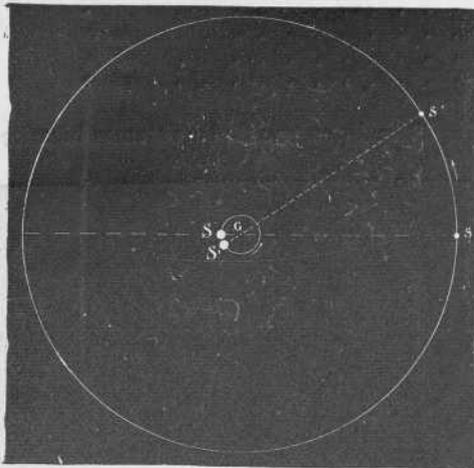


Fig. 79. — Órbitas de Proción y su satélite alrededor del centro de gravedad del sistema

la estrella brillante y á una distancia de 10". Era exactamente la dirección predicha para aquella fecha, si bien los descubridores lo ignoraban en absoluto.

Cuando llegó á extenderse por el mundo esta noticia, todos los telescopios de algún poder se apuntaron á Sirio, y se vino en conocimiento de que, sabiendo la posición del satélite, se le podía columbrar con instrumentos de mediana fuerza, aunque siempre más que vulgares. Se hallaba el satélite, precisamente, en la dirección que asignaba de antemano la teoría para aquella fecha, y se observó con el mayor interés, con objeto de averiguar si la dirección real de su movimiento concordaba

con la del satélite teórico; las observaciones que se efectuaron durante los cuatro años siguientes á su descubrimiento, demostraron que así era la verdad, de modo que no fué posible poner en duda que este remotísimo cuerpo casi invisible fuese en realidad el que producía las perturbaciones de Sirio; también se averiguó que la correspondencia no era de todo punto exacta, pues el movimiento del satélite era de medio grado más por año de lo que indicaba la teoría; pero la diferencia, aunque superior á lo que se aguardaba, se debe probablemente á los errores inevitables de observaciones tan delicadas y difíciles que sirvieron de fundamento á la hipótesis del satélite teórico.

Además de las estrellas dobles, se perciben en el cielo grupos de tres ó más soles, reunidos física ú ópticamente, que se conocen con el nombre de estrellas triples, cuádruples ó múltiples. Con frecuencia ocurre que una de las componentes de un sistema binario de gran radio es por lo común una estrella binaria á su vez, pero estrechísima, la que sólo se ha podido descubrir mucho tiempo después de conocerse que ya formaba parte de un primer sistema; por ejemplo, mu Herculis fué reconocida como estrella doble por Herschel, siendo la distancia

de su compañera de unos $30''$ y su magnitud mucho más pequeña; en 1856 probó Clark uno de sus objetivos con este par, y descubrió que la componente era á su vez doble y estaba formada por dos estrellas de igual brillo, que distaban $1''$; este estrechísimo par compone un sistema binario de período corto, habiendo te-

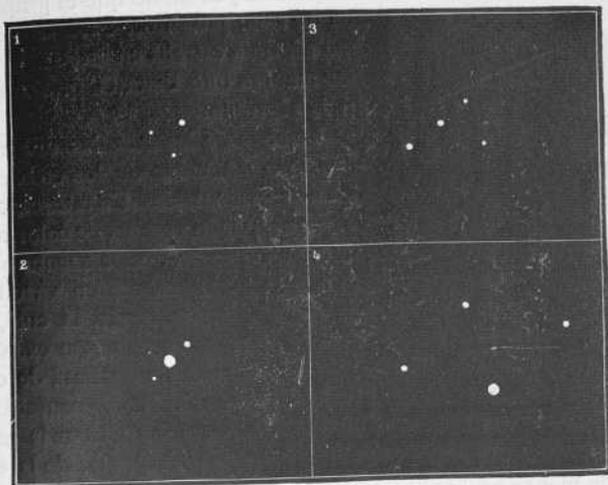


Fig. 80. — Estrellas triples y cuádruples. — 1. Estrella triple de Unicornio. — 2. Estrella triple de Pegaso. — 3. Estrella cuádruple del Toro. — 4. Estrella cuádruple de Casiopea

nido lugar más de media revolución de ambas estrellas desde el año de 1856; otro caso semejante es el de γ Andromedæ, descubierta por Herschel y que Struve había encontrado antes doble.

γ Virginis es también una estrella triple, pero las órbitas calculadas se refieren á las dos componentes principales, que son de 3.^a magnitud; su período se estima en 153 años, según Villarceau. La estrella zeta Cancri, á que antes hicimos referencia, no es únicamente doble, pues en realidad forma un sistema ternario, toda vez que una tercera estrella, mucho más distante que las dos primeras, gravita también en torno del centro común de atracción. Struve ha trazado la órbita de la tercera componente referida al centro óptico de las otras dos, que sin duda se aparta poco del centro de gravedad, y halló, en vez de una curva única, una serie regular de sinuosidades que demuestran con toda certidumbre la existencia de poderosas perturbaciones.

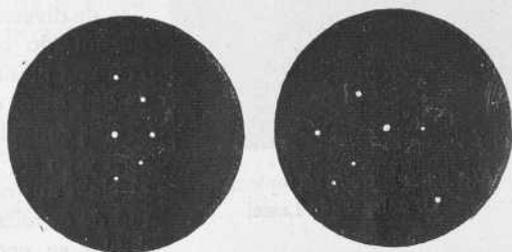


Fig. 81. — 1. Estrella séxtuple (548 Herschel). — 2. Estrella séxtuple de la Nube mayor de Magallanes

De las estrellas múltiples son muy notables las de las constelaciones del Del-

fin y de la Nube mayor de Magallanes; merece también llamar nuestra atención la estrella theta Orionis, que al principio se consideraba como cuádruple, cuyas componentes formaban un cuadrilátero situado en el centro de una nébula que pronto describiremos. El empleo de telescopios más poderosos permitió luego que se descubriesen dos estrellitas muy tenues, de modo que el grupo se componía de seis; posteriormente Lassel descubrió una séptima estrella en este hermoso sistema, por manera que theta Orionis forma una estrella séptuple.

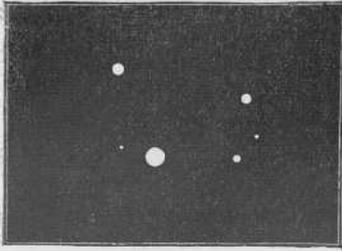


Fig. 82. - Estrella séxtuple theta Orionis, según Herschel

Muchas de las estrellas dobles presentan el vistoso fenómeno de los colores contrastados ó suplementarios. En tales casos la estrella mayor es, por lo común, de color rojizo ó anaranjado, en tanto que la menor aparece azul ó verde, probablemente en virtud de esa ley general de óptica, según la cual, cuando la retina se halla fuertemente excitada por la acción de alguna luz intensa de color determinado, las luces más débiles, que aisladas sólo producirían la sensación del blanco, deben aparecer teñidas del color complementario de la más intensa. Por manera que, cuando predomina el color amarillento en la luz de la estrella más luciente, la de menos brillo aparecerá azul en el campo del anteojo; y si el tinte de la más brillante se inclina al carmesí, el de la otra tirará á verde, y aún puede aparecer de un verde vivo en circunstancias favorables.

Mas no hay que atribuir exclusivamente el fenómeno de la coloración de las estrellas á un simple efecto de contraste, como acabamos de indicar, puesto que la observación demuestra que esta ilusión óptica es accidental y que en realidad existen estrellas de diversos colores. En efecto Struve ha encontrado con frecuencia un satélite azul con una primaria blanca ó amarilla. También se dan casos en que las dos componentes son azules, como las estrellas dobles delta Serpentarii y 59 de Andrómeda; según Dunlop, en el cielo austral hay un grupo de una multitud de estrellas, azules todas. En las estrellas dobles se encuentran todas las gradaciones

de color que es posible imaginar. El blanco se halla asociado con el rojo claro ú obscuro, con el púrpura y el rubí; tal estrella verde se ve acompañada por otra de color de sangre; un sol primario anaranjado tiene por satélite un sol púrpura ó azul de añil. La estrella triple gamma Andromedæ está formada por un sol rojo acompañado por otros dos soles cuya luz es de color verde esmeralda, según unos observadores, y según otros, son los satélites amarillo y azul. En una de las asociaciones estelares del catálogo de Herschel se encuentra una estrella principal roja y las dos componentes azules; así como en otra es blanca la prime-

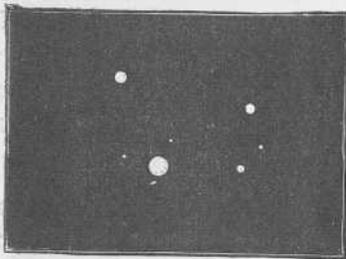


Fig. 83. - Estrella séptuple theta Orionis, según Lassel

ra con dos satélites rojos, ó blanca con dos satélites, uno rojo y blanco el otro.

En la constelación de la Cruz del Sur, cerca de la estrella cappa, hay un grupo notable, compuesto de ciento diez estrellas, de las que siete nada más superan á la décima magnitud; entre las principales, dos son rojas y roja bermeja, una azul verdosa, dos verdes y tres de un verde más pálido. Forma, pues, este grupo un objeto brillante y de la mayor belleza.

«Las estrellas que lo componen, vistas en un telescopio bastante poderoso que permita percibir los colores, dice Herschel, hacen el efecto de un estuche de piedras preciosas polícromas.»

La lista siguiente comprende algunas de las principales estrellas dobles de colores.

Estrellas	Magnitud de las componentes	Color de A	Color de B
Eta Cassiopeæ	4. ^a 7 1/2 ^a	Amarillo	Púrpura
Alfa Piscium	5 6	Verde pálido	Azul
Gamma Andromedæ	3 1/2 5 1/2	Anaranjado	Verde mar
Iota Cancri	5 1/2 8	Anaranjado	Azul
Epsilon Bootis	3 7	Amarillo rojizo	Verde mar
Zeta Coronæ	5 6	Blanco	Púrpura
Alfa Herculis	3 1/2 5 1/2	Anaranjado	Verde esmeralda
Beta Cygni	3 7	Amarillo	Azul zafiro
Sigma Cassiopeæ	6 8	Verdoso	Azul brillante

Más fácil es sugerir con palabras que abarcar con la mente la variedad de iluminación que dos soles, el uno rojo y el otro verde, ó el uno amarillo y el otro azul, deben dispensar á un planeta que circule alrededor de entrambos, y los graciosos contrastes y agradables vicisitudes de una luz ya roja, ya verde, por ejemplo, en alternativa con la blanca y con la obscuridad, á que puede dar margen la variada combinación de la presencia ó ausencia, ya del uno, ya del otro, ó de entrambos sobre el horizonte.

Estrellas aisladas y de color se encuentran también en muchas partes del cielo; las principales son:

Blancas. — Sirio, Régulo, Fomalhaut y alfa Ursæ minoris (la Polar).

Rojas. — Aldebarán, Antares y Betelgeuze.

Azules. — Capella, Rigel, Proción y Spica.

Verdes. — Wega, Atair y Deneb.

Amarilla. — Arcturo.

El color ó tono de estas estrellas no es permanente; verbigracia, Ptolemeo y Séneca consideraban que Sirio era roja, *rubra canicula*, y hoy día aparece de una blancura deslumbradora; otros autores, sin embargo, como Higino y Germánico César, emplean la voz *candidus*. Otras dos estrellas dobles, que Herschel anotó como blancas, se encuentran en la actualidad formadas por una estrella principal amarilla, acompañada por otra verde rojiza.

Cuando nos ocupemos del análisis espectral de los cuerpos celestes, veremos cómo explica la ciencia estas transformaciones.

Una ligera y superficial observación de la bóveda celeste, á la simple vista, y mejor, armados con el telescopio, nos revela que así como las estrellas más

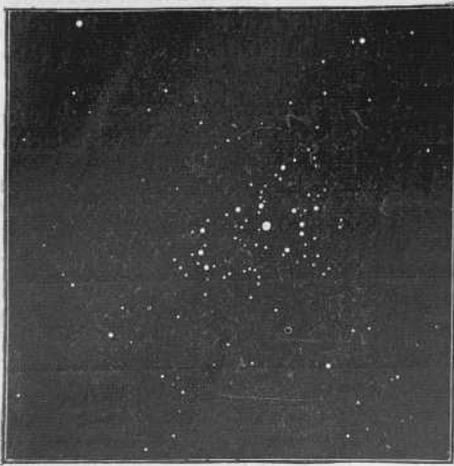


Fig. 84. - Las Pléyades ó Cabrillas vistas con el telescopio

brillantes se hallan igualmente esparcidas por todo el firmamento, no ocurre lo propio con las que ofrecen escaso brillo; números inmensos de estrellas, imposibles de estimar, forman unos *montones*, *conglomerados* ó *cúmulos*, en los que, á menos de valerse de anteojos poderosísimos, es imposible columbrar ningún individuo aislado, presentándose como una mera mancha ó nube luminosa.

Estos cúmulos ofrecen grandes divergencias en cuanto á la densidad de su agregación. En el límite inferior podemos colocar á las Pléyades ó Cabrillas, que forman uno de los objetos celestes más conocidos y visibles; todo el mundo dice las siete cabrillas, pero, en realidad, sólo se perciben seis á la simple vista; según una fábula ó conseja, existían antes siete estrellas en este conglomerado, pero no se sabe cómo, ni cuándo, desapareció una de ellas y quedaron reducidas á seis, que son las que se ven en la actualidad por la mayoría de las gentes; una persona de buena vista puede distinguir en este grupo hasta once estrellas en condiciones atmosféricas favorables, y con un anteojo se columbran de cincuenta á ciento, según la fuerza y claridad del instrumento. Alcione, la más brillante, es de 3.^a magnitud, Electra y Atlas de 4.^a, Merope, Maya y Taigete de 5.^a; otras tres han recibido también nombres particulares, por más que no se distinguen á la simple vista, y son Pleione, Coeleno y Astéroe, de 6.^a y 8.^a magnitud.

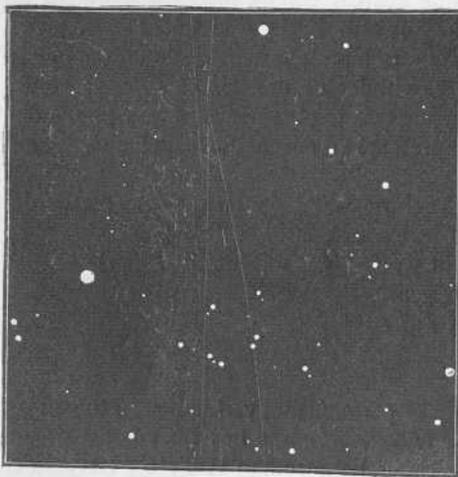


Fig. 85. - Las Hiades, grupo de la constelación del Toro

Las Hiades, que se encuentran muy cerca de las Pléyades, forman un grupo de estrellas menos numerosas y amontonadas que éstas; la luz deslumbradora de Aldebarán hace que se perciban con dificultad, si no se utilizan

para ello algunos auxilios ópticos; y como aparecen en la estación lluviosa, se les dió el nombre de Hiades, de una palabra griega que significa llover.

El cúmulo de Prosepe ó la Colmena, situado en la constelación del Cangrejo, se columbra fácilmente á la simple vista en una noche clara y sin Luna, como una masa nebulosa de luz, pero sin que puedan separarse sus componentes. Otro grupo de estrellas, que asimismo se ve á la simple vista, es el de Perseo; hay también algunos más, como la Cabellera de Berenice, etc.

No puede decirse que haya una línea absoluta de división entre estos grupos y los cúmulos ó conglomerados más densos, si bien algunos astrónomos los separan y se ocupan de los grandes enjambres estelares al hablar de las nebulosas; pero nosotros preferimos

estudiar á la vez los fenómenos que presentan, en esencia, un mismo carácter.

No hay en el cielo objetos que ofrezcan mayor interés que los cúmulos ó enjambres de estrellas; la distancia á que se hallan es tal, á veces, que aun valiéndose de los más poderosos telescopios, tan sólo se perciben como una ligera mancha de polvo estelar y sin que nos sea posible, no ya medir el espacio que de ellas nos separa, pero ni estimarlo tal vez. Muchos hay entre esos cúmulos que se han tenido á primera vista por cometas, lo cual no es extraño, porque presentándolos los anteojos de mediana fuerza en forma de pequeñas manchas nebulosas, redondas ú ovaladas, se parecen sobre manera á aquellos astros cuando carecen de cola. Messier dió en los *Conocimientos de los tiempos*, de 1784, un catálogo de las posiciones de ciento tres

objetos de esta clase, que deben tener muy presentes todos los que se dedican al descubrimiento de cometas, para no equivocarse con la semejanza de aspecto.



Fig. 86. - Prosepe, conglomerado de estrellas de la constelación del Cangrejo

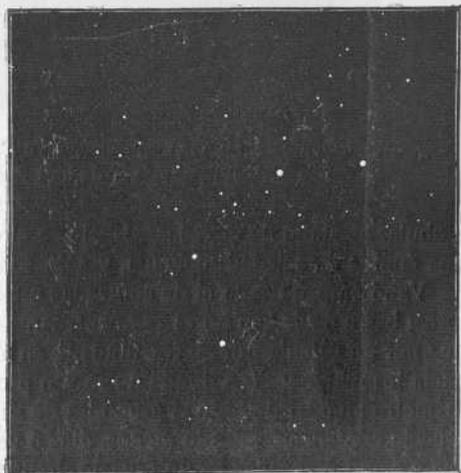


Fig. 87. - Cúmulo de estrellas de la constelación de Perseo

Que no son cometas, lo prueba ya suficientemente su fijeza, y sobre todo, cuando llegamos á examinarlos con instrumentos de mucha amplificación, como, por ejemplo, telescopios de 50 centímetros y más de abertura, se disipa completamente todo asomo de semejanza en que pudiera apoyarse tal idea. Se ve entonces que, por lo general, se componen en totalidad de estrellas tan apiñadas, que ocupan un contorno casi determinado, y vienen á fenecer en una masa, luminosa en el centro, en donde la condensación es mayor por lo común. En muchos se nota la forma exactamente redonda, y éstos dan la más completa idea de un espacio

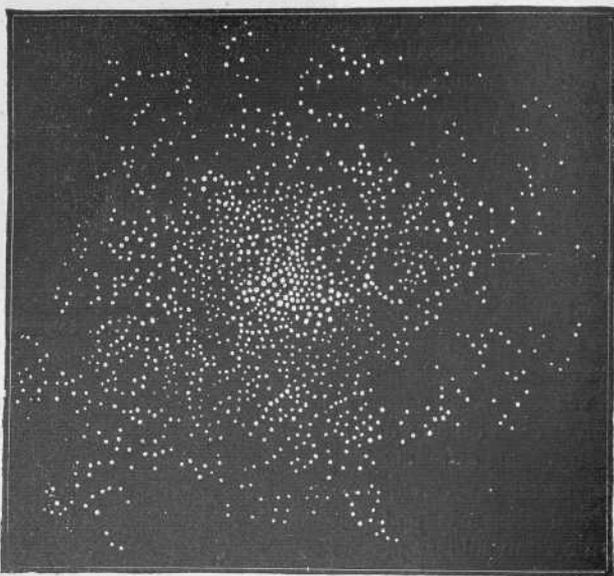


Fig. 88. - Cúmulo estelar de la constelación de Acuario, examinado con el gran telescopio de lord Rosse

globular atestado de estrellas, aislado en el cielo, y que constituye por sí mismo una familia ó sociedad separada, y sólo sometida á sus propias leyes internas.

Vano empeño sería el de contar las estrellas de uno de estos cúmulos globulosos; baste decir que no es por centenares como puede graduarse su número, y que por un cálculo por mayor, fundado en los intervalos aparentes que presentan hacia los márgenes (en donde no se ven proyectadas unas sobre otras), y en el diámetro angular de todo el grupo, es de suponer que muchos cúmulos de esta especie contengan, cuando menos, diez ó veinte mil estrellas cada uno, embutidas y como prensadas en un espacio circular, cuyo diámetro aparente no pasa de ocho ó diez minutos, es decir, en un área que es como la décima parte de la que cubre la Luna.

Pueden considerarse estos cúmulos como pequeñas colonias de lo infinito, y nada nos impide suponer que cada una de sus estrellas sea el centro de un grupo de planetas tan grandes como los de nuestro sistema solar, y que ca-

da planeta se encuentre poblado como nuestra propia Tierra; de modo que, como vemos que todos estos soles se encuentran condensados en una pequeña mancha luminosa, pudiéramos llegar á creer que aquellos habitantes sostuvieran relaciones con los de los demás sistemas vecinos. Sin embargo, si fuera posible que nos transfiriésemos á uno de esos lejanos cúmulos, y tomáramos como residencia á cualquiera de sus planetas, en lugar de ver que los demás soles se encontraban en inmediata vecindad, observaríamos que un firmamento de estrellas igual al nuestro se extendía por todas partes. Probablemente sería de mayor brillo, pues en él habrían de hallarse muchas estrellas superiores á Sirio en esplendor; pero en cuanto á columbrar á los habitantes de los mundos vecinos, sería tan difícil como ver á los de Marte desde la Tierra; de modo que para aque-

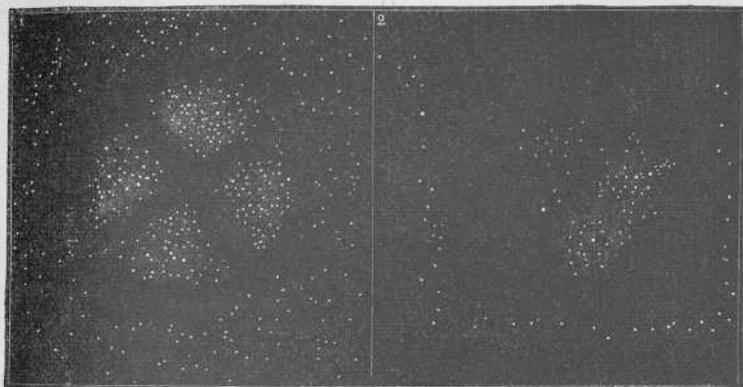


Fig. 89. — Cúmulos estelares, según Herschel

llos seres, la cuestión de la pluralidad de los mundos habitados es tan irresoluble como para nosotros.

Para dar al lector una idea del aspecto de los cúmulos más distantes, insertamos, además de las láminas adjuntas, dos grabados en los que se reproducen las vistas que tomó Herschel de estos objetos en su Observatorio del Cabo de Buena Esperanza. La figura 90 representa el cúmulo 2.322 del catálogo de Herschel, situado en el cielo austral en un lugar casi desprovisto de estrellas, cerca de la nube menor de Magallanes; el ilustre astrónomo describe este objeto como uno de los cúmulos globulares más hermosos que pueden observarse, siendo inmenso el número de estrellas de 14.^a magnitud que lo forman; la condensación central se percibe fácilmente; se divide en tres zonas distintas, contrastando el color rojo anaranjado de la condensación central, con la luz blanca de las envolturas concéntricas. Una estrella doble se proyecta sobre el conglomerado, pero probablemente no tiene relación alguna con el grupo.

La fig. 91 representa el cúmulo 3.504 del catálogo, que, según Herschel, es el más rico y hermoso del cielo; sus estrellas son literalmente innumerables, y considerando que el importe total de su luz impresiona nuestra vista como una estrella de 4.^a ó 5.^a magnitud, puede calcularse la pequeñez individual de cada componente.

Uno de los argumentos más poderosos que presentaban los antiguos astrónomos en contra de la movilidad de la Tierra, era la falta de paralaje de las estrellas fijas, y en este fenómeno se apoyaba Tycho Brahe para rechazar el sistema de Copérnico.

En las páginas que anteceden hemos visto que por medio de observaciones delicadas y de ingeniosas combinaciones de raciocinio teórico, hemos llegado á un cómputo exacto, primero de las dimensiones de la Tierra; luego, tomando éstas como base, al conocimiento de las de su órbita alrededor del Sol; y en seguida, fijando, digámoslo así, nuestras estaciones en los opuestos márgenes de

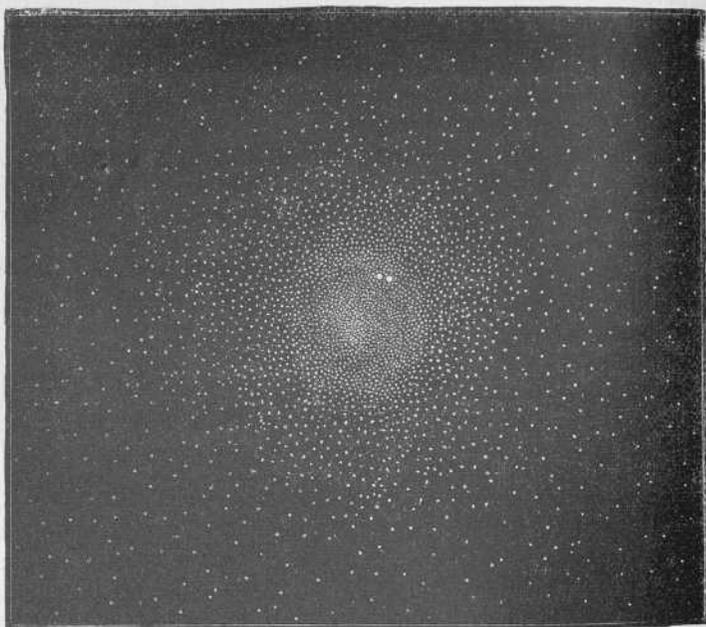


Fig. 90. - Cúmulo estelar 47 Tucani, según Herschel

la periferia de esta órbita, hemos prolongado nuestras medidas hasta los últimos confines de nuestro propio sistema, y aun con el auxilio de lo que sabemos acerca de las excursiones de los cometas, hemos podido dar como á tantas un paso ó dos más allá de la órbita del planeta más lejano de todos los conocidos. Pero entre la órbita más remota y la estrella más próxima media un abismo, de cuya extensión no pueden darnos idea las observaciones hechas hasta hoy, ni aproximación clara y distinta, no habiendo distancia alguna, por inmensa que sea, á que no pueda sobrepujar, según todos los datos que tenemos.

Sin embargo, el telescopio, que ha sido un poderoso auxiliar en la medición de los pequeños ángulos, permitió á los defensores del sistema copernicano atacar con dudoso éxito el problema de la paralaje de las estrellas; pero como los primeros observadores tenían nociones muy imperfectas de los artificios mecánicos necesarios para realizar la empresa con mediano fruto, no produjo el in-

vento del anteojo ningún resultado inmediato en los métodos de triangulación celeste. Un primer paso se dió en este camino por el inglés Hooke en 1669; instaló en su casa un anteojo de treinta y seis pies de largo, en una posición vertical, de tal manera que el objetivo se encontraba colocado en un agujero del techo del edificio y el ocular en el piso bajo; una plomada pendía desde el objetivo hasta un punto situado debajo del ocular, de modo que pudiera comprobarse con exactitud la dirección vertical del instrumento. La estrella elegida para la observación fué *gamma* Draconis, porque relativamente era brillante y pasaba por el cenit de Londres; el método se reducía á medir la distancia de la imagen de la estrella á la plomada de uno á otro día, en el momento de su paso por el meridiano; tan sólo había hecho cuatro observaciones, cuando se rompió el objetivo casualmente y la tentativa quedó sin realizarse.

De 1701 á 1704, Roemer, que se encontraba en Copenhague, trató por otro método de resolver el problema; midió el ángulo que separa á las estrellas Sirio y Wega con el anteojo de pasos y el péndulo astronómico, anotando el tiempo transcurrido entre los pasos meridianos de ambos astros; la diferencia fué de 4 segundos de tiempo, ó sea un ángulo muy pequeño, que naturalmente se atribuyó al movimiento de la Tierra, según se dijo en una disertación titulada

Kopernicus triumphans. Hoy día se sabe que estas estrellas no presentan semejante paralaje, y Peters ha demostrado que la diferencia que halló el entusiasta astrónomo dinamarqués se debe, en gran parte, á la marcha defectuosa de su péndulo astronómico.

Cansaríamos al lector refiriendo particularmente todas las tentativas hechas por los astrónomos del penúltimo siglo y del primer tercio del último para averiguar la paralaje de las estrellas, y por lo tanto, sus distancias. Bastará que digamos de un modo general que se fundan en medidas absolutas, esto es, que se trataba, valiéndose de un círculo graduado, de determinar diariamente la distancia cenital de una estrella al pasar por el meridiano. La posición del cenit se averiguaba por varios medios: ó bien con una plomada muy sensible, ya con un nivel de mercurio, y lo que se pretendía averiguar era el ángulo que formaban la vertical y la línea visual dirigida á la estrella. Todos los resultados que obtuvieron los astrónomos fueron ilusorios, pues sus pretendidas paralajes se reducían á los errores de los instrumentos empleados.

Struve fué el primero que probó de un modo concluyente que la paralaje,

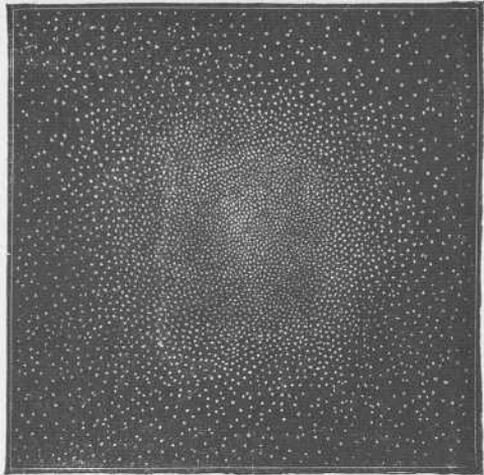


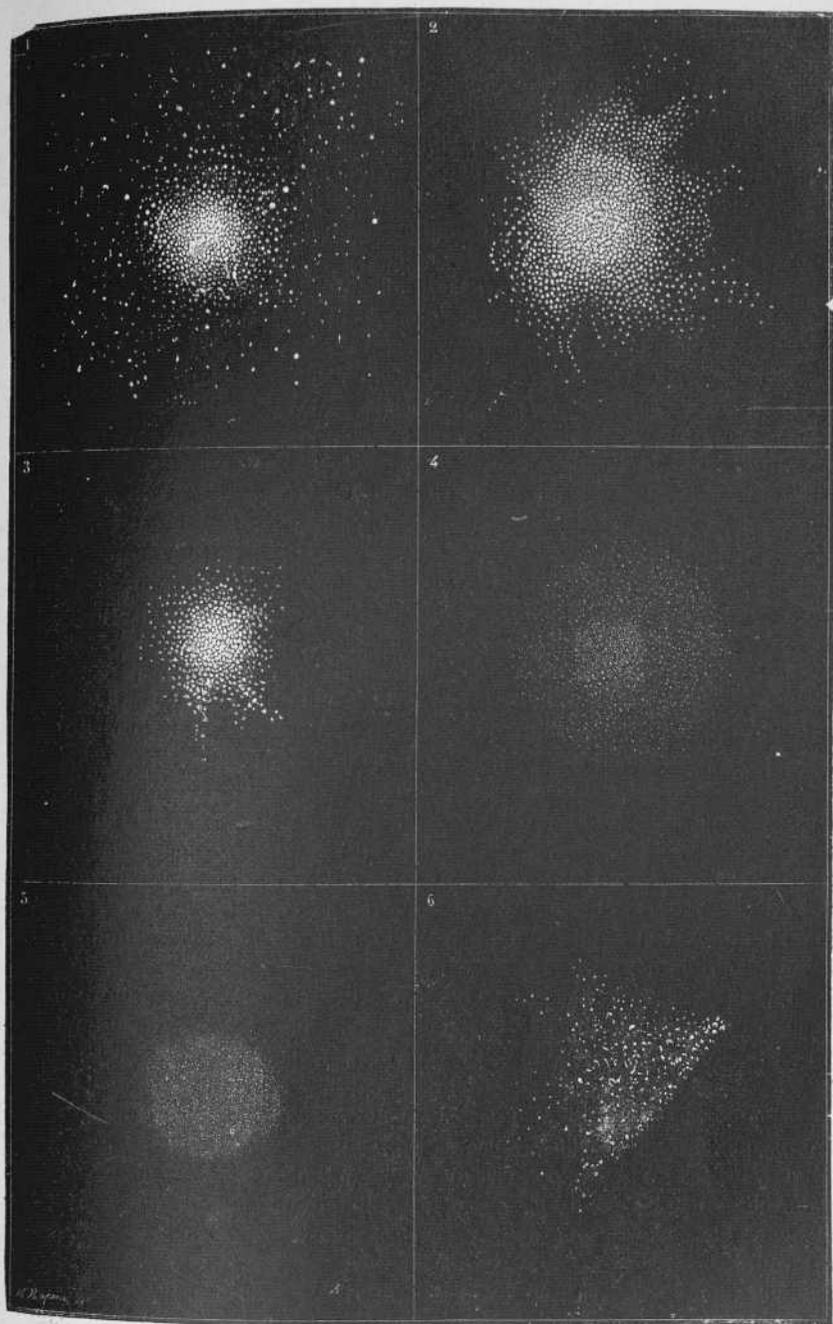
Fig. 91. — Cúmulo estelar omega del Centauro, según Herschel

aun de las estrellas más brillantes, era tan pequeña, que no había posibilidad de medirla por ninguno de los métodos hasta entonces empleados. El suyo, en principio, se asemejaba al de Roemer; pero las estrellas opuestas que eligió eran visibles á sus pasos por el meridiano inferior, lo mismo que por el superior, de manera que poco tiempo antes ó después de observar uno de los pasos de cualquiera estrella, hacía girar su anteojo meridiano apuntándolo debajo del polo, y observaba el paso de la estrella opuesta, del Oeste al Este. Con este artificio obviaba el inconveniente del movimiento irregular del reloj, ó si se veía obligado á apoyarse en él, era por una hora ó cosa así, y no por doce como Roemer; el resultado de las observaciones de Struve indicaba que la paralaje media de las 25 estrellas más brillantes, que distan del polo menos de 45 grados, apenas excede de un solo décimo de segundo.

Este era el estado general del asunto en el año 1835, en cual fecha decidieron Struve y Bessel, en vez de tratar de determinar distancias cenitales, de seguir el método de las paralajes relativas, iniciado, puede decirse, por Galileo y Huyghens; cuando una estrella brillante y otra débil se ven á un mismo tiempo en el campo del anteojo, esta última, probablemente, dista más que la primera, y por lo tanto, han de cambiar sus posiciones relativas, según que la Tierra se mueva en torno del Sol y se encuentre en cada uno de los extremos de uno de los diámetros de su órbita. Si, por ejemplo, una de las estrellas se hallaba á una distancia tres veces mayor que la otra, su movimiento aparente producido por la paralaje sería un tercio tan sólo del que correspondiese á la otra, y obtendríamos una paralaje relativa igual á los dos tercios de la que correspondiera á la estrella brillante, la cual puede averiguarse midiendo la distancia angular de ambas estrellas, según se ven en el telescopio de día en día, en el transcurso del año. El defecto de este método reside en la imposibilidad de determinar cuántas son las veces que una estrella dista más que la otra, puesto que nada se opone á que la estrella más débil se encuentre más cerca de nosotros que la de magnitud superior. A esta consideración, sin duda, hay que atribuir el que los astrónomos no hicieran uso de este método en cerca de tres siglos.

No obstante, llegó á averiguarse que en algunos casos podía una estrella estar más cerca de nosotros que las demás de magnitud inferior que la rodeasen, según se vieran en el campo del telescopio. Por ejemplo, la estrella 61 del Cisne, ó más bien, el par de estrellas que así se designa, se ha visto que no ocupa una posición fija en la esfera celeste, como las estrellitas que la circundan, sino que se mueve en línea recta hacia adelante, con una velocidad de seis segundos por año; este movimiento propio era tan extraordinario, que parecía probable que la estrella fuese una de las que menos distasen de la Tierra, por más que se clasifica entre las de sexta magnitud. Por este motivo la escogió Bessel para la investigación de su paralaje relativa respecto de las otras dos estrellas vecinas; el instrumento que empleó fué el heliómetro, que tal como se construye en la actualidad es susceptible de una gran precisión, pero que en aquella época no podía considerarse como un aparato perfecto.

Las primeras tentativas de Bessel para determinar la paralaje fracasaron de igual manera que las de sus antecesores; empezó de nuevo sus mediciones en



CÚMULOS ESTELARIOS, según los dibujos de J. Herschel

1. Cúmulo de la Balanza; 2, de Hércules; 3, de Capricornio; 4, de Acuario;
5, de la Serpiente; 6, de los Gemelos

agosto de 1837, continuándolas hasta octubre del año siguiente; obtuvo como resultado de esta serie una paralaje de unos tres décimos de segundo ($0''3136$); reformó entonces su instrumento y comenzó una segunda serie, que terminó su ayudante Schlüter en marzo de 1840; el valor final de la paralaje deducida por Bessel de todas estas observaciones, fué de $0''35$. Investigaciones posteriores demostraron que este número era algo pequeño, y Auwers, de Berlín, la estimó en $0''51$.

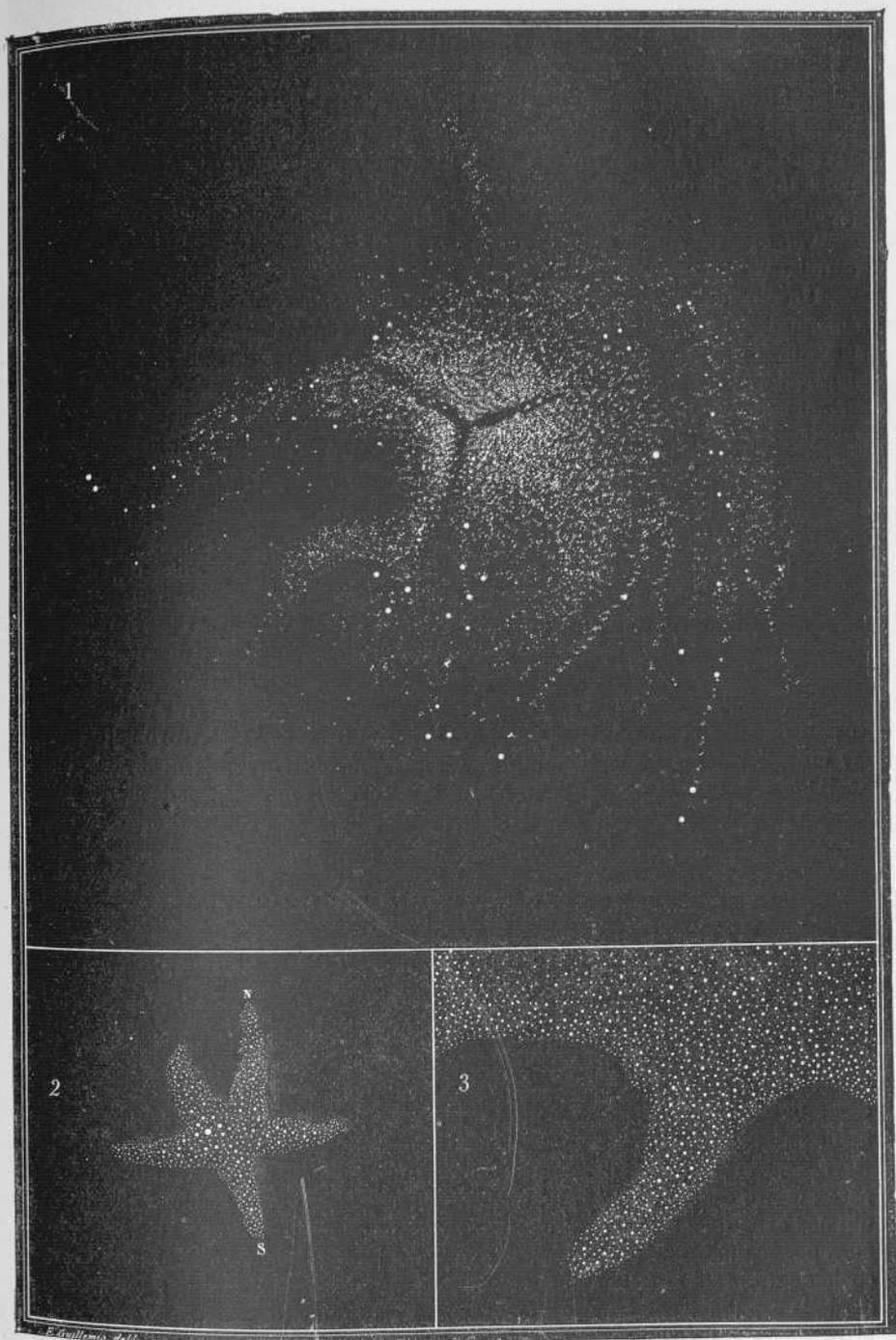
En 1880 y 1881 se ocupó Mr. Hall del mismo problema, empleando el gran refractor del Observatorio de Washington, de 26 pulgadas de abertura, y rebajó el valor de la paralaje á $0''48$.

Struve eligió la estrella alfa de la Lira para medir la paralaje relativa, pues no sólo tiene un movimiento propio sensible, sino que es de 1.^a magnitud, de manera que puede suponerse que pertenezca á la categoría de las estrellas que distan menos de la Tierra; la comparación se hizo con una pequeña estrella simple, inmediata, utilizando el instrumento del Observatorio de Dorpat, dando comienzo á las investigaciones en noviembre de 1835 y terminando en agosto de 1838. La paralaje que resultó media la cuarta parte de un segundo; observaciones posteriores redujeron este valor á $0''2$, y Hall en 1881 lo fijó en $0''18$, por manera que aunque alfa Lyrae es casi unas cien veces más brillante que cada una de las componentes de la 61 Cygni, dista de nosotros como dos veces más.

Según los datos más exactos que hoy día posee la ciencia, parece que en realidad la estrella más próxima á la Tierra es alfa Centauri, situada en el hemisferio austral. Este descubrimiento se debe á Henderson, quien lo realizó en el Cabo de Buena Esperanza, casi al mismo tiempo que Struve y Bessel efectuaban sus primeras medidas de paralajes. Las observaciones fundamentales se llevaron á cabo con el círculo mural del Observatorio del Cabo, y por lo tanto, fueron medidas absolutas de distancias cenitales, en vez de comparaciones con las estrellas próximas, como las de Struve y Bessel. De una discusión y examen detenido de sus propias observaciones, obtuvo Henderson como valor de la paralaje de las dos estrellas que componen alfa Centauri, $0''91$. Hoy se admite que este valor es sólo de $0''72$.

Las investigaciones recientes de varios observadores han demostrado que unas doce estrellas visibles en nuestras latitudes presentan paralajes que varían de un décimo á medio segundo. Unas de ellas corresponden á estrellas pequeñas que se suponen cercanas á nosotros por su gran movimiento propio, al paso que otras son de las más brillantes del cielo. Es digno de llamar la atención, sin embargo, que entre las trece estrellas de primera magnitud visibles en nuestras latitudes, menos de la mitad carezcan en absoluto de paralaje, por más que para determinarla se ha acudido á todos los refinadísimos medios que hoy posee la ciencia. La mayor parte de las estrellas que tienen paralaje son de escasa magnitud.

Sucede algunas veces, en las mediciones de la paralaje anua de las estrellas fijas, que los astrónomos obtienen de sus observaciones una paralaje *negativa*. Para comprender lo que esto quiere decir, haremos observar que la determinación de la distancia de una estrella se obtiene averiguando sus direcciones, según se ve desde dos puntos opuestos de la órbita de la Tierra; si tiramos una línea



CÚMULOS ESTELARIOS. - 1. Cúmulo de Hércules, visto con el gran telescopio de Parsonstown, y según un dibujo de M. B. Stoney. - 2. Cúmulo del Unicornio. - 3. Porción de la Vía láctea inmediata á la cola del Escorpión, según J. Herschel.

de cada uno de estos puntos en la dirección observada de la estrella, se encontrará ésta en la intersección de ambas rectas; una paralaje negativa indica que, en vez de concurrir las dos líneas en un punto, divergen, así que no es posible asignar á la estrella posición alguna que corresponda á las observaciones, resultado paradójico que sólo puede provenir de errores en la observación.

Vamos á ver qué distancias obtenemos del valor de las paralajes de algunas estrellas.

Un objeto cualquiera, grande ó pequeño, redondo ó cuadrado, subtiende un ángulo de un segundo, colocado á una distancia igual á 206.265 veces sus propias dimensiones; de modo que si llegamos á averiguar la paralaje de una estrella, fácilmente deduciremos su distancia; si su valor se expresa en segundos ó décimos de segundo, y r denota el semidiámetro de la órbita terrestre, d la distancia de la estrella y p la paralaje, tendremos la sencillísima fórmula

$$d = r \times \frac{206.265}{p}$$

Luego si $p = 1''$, la distancia de la estrella será igual á 206.265 veces la distancia que nos separa del Sol, y como acabamos de ver que la estrella alfa del Centauro, que es la que presenta mayor paralaje, aún con eso no llega á $1''$, podemos afirmar que ninguna estrella hay que diste de la Tierra menos de 206.265 veces la distancia que nos separa del Sol.

Examinemos con mayor detenimiento la importancia de este resultado; la distancia del Sol, en números redondos, lo cual basta para nuestro objeto, es de 37 millones de leguas, que multiplicados por 206.265 nos dan, no la distancia de la más inmediata de las estrellas fijas, sino *su límite inferior*, es decir, que más acá es imposible que pueda encontrarse la estrella; este límite expresado en leguas es

$$d = 206\ 265 \times 37.000.000 = 7.631.805.000.000$$

ó cerca de 8 billones de leguas.

Nuestra imaginación no puede abarcar este número; vemos el guarismo, lo consideramos, queremos traducirlo y enterarnos de lo que significa, pero sólo conseguimos obtener una mediana concepción de la mera expresión numérica que resulta del cálculo; los mismos astrónomos, acostumbrados como están á manejar, y páseosen la frase, guarismos y cantidades estupendas, se ven obligados á buscar unidades de magnitud proporcionada para reducir la expresión aritmética de las cantidades á límites más comprensibles.

La velocidad de la luz nos proporciona uno de los medios más convenientes para nuestro objeto y que ya empleamos en otras ocasiones. Según resulta de los últimos experimentos de Cornu, la luz se propaga con una rapidez de 75.000 leguas por segundo; de modo que, si dividimos la distancia d por esta cantidad, el cociente nos dará el tiempo, expresado en segundos, que invierte la luz en venir desde la estrella hasta la Tierra; pero como este número tampoco lo podemos abarcar con la imaginación, conviene reducirlo á minutos, horas, días y años.

En el cuadro siguiente presentamos las paralajes de varias estrellas, sus dis-

tancias á la Tierra expresadas en radios de la órbita terrestre y en años que ha empleado la luz en llegar hasta nosotros.

ESTRELLAS	PARALAJES	DISTANCIAS	
		En radios de la órbita terrestre	En años invertidos por la luz
Alfa Centauri	0".72	290 000	4,5 años
61 Cigni	0 .44	470.000	7,4
Sirio	0 .37	560.000	8,1
Proción	0 .27	760.000	12,1
La Cabra	0 .21	980.000	15,2
Altair	0 .20	1 030.000	16,3
Aldebarán	0 .15	1.380 000	21,7
Wega	0 .15	1 380 000	21,7
Polar	0 .07	2.950 000	46,5

Vemos, por la lista que antecede, que cuando observamos una estrella, en realidad cuenta este objeto, cuando menos, cuatro años y medio, y que en este tiempo puede haber desaparecido por completo; por manera que sería posible que alguna de las estrellas que contemplamos en el cielo se hubiera extinguido mucho tiempo ha, y sin embargo, la percibiríamos porque su luz aún venía caminando; del propio modo, pudiera haber estrellas tan remotas, que á pesar de la velocidad de 75.000 leguas por segundo de que viene animada su luz, todavía no hubiera transcurrido tiempo bastante para que fueran visibles desde nuestro globo.

Por esto dice Herschel que cuando observamos sus lugares y anotamos sus alteraciones, lo que en realidad hacemos es leer su historia de 4, 100, 1.000 ó más años de fecha, conservada y transmitida de este modo prodigioso.

Finalmente, si nos suponemos situados en la estrella alfa del Centauro, el radio de la órbita terrestre, que mide 37 millones de leguas, aparecería como un punto imperceptible.

A la simple vista parece que las estrellas conservan la misma posición relativa en la esfera celeste, generación tras generación; si Job, Hiparco ó Ptolemeo pudieran volver á contemplar el cielo, hallarían, verosímilmente, que Aldebarán, Orión y las Pléyades ocupaban el mismo lugar que hace miles de años, sin que una sola estrella se hubiera movido de su sitio. Los delicados métodos de la astronomía moderna, que nos permiten con auxilio del telescopio medir espacios absolutamente invisibles á la simple vista, han demostrado que la pretendida invariabilidad y fijeza de los cielos no es real, y que las estrellas poseen movimientos propios, tan lentos, empero, que para percibirlos se necesita que transcurran miles de años.

En unos diez mil años cierto número de estrellas, en particular las más brillantes, ofrecerán alguna dislocación en sus posiciones; pero para que puedan reconocerse cambios marcados en la configuración de las constelaciones, es necesario que pasen más de treinta mil años.

Como regla general, puede decirse que las estrellas de mayor esplendor son las que presentan movimientos propios más considerables; pero esta regla sufre muchas excepciones; la estrella que tiene mayor movimiento propio de todas las que se conocen es la 1.830 del Catálogo de Groombridge, y su magnitud ocupa el 7.º lugar en la escala. Sigue luego el par formado por la 61 del Cisne, cuyas componentes son de sexta magnitud, y otras varias de cuarta y quinta magnitud.

Sus movimientos anuos son como sigue:

ESTRELLAS	MAGNITUDES	MOVIMIENTOS PROPIOS	
		anuos	en 10.000 años
1.830 Groombridge	7. ^a	7" 0	19°
61 Cygni	5. ^a	5. 2	14°
21.185 Lalande	4. ^a	4. 7	13°
Epsilon Indi	7. ^a	4. 5	12° 30'
21.258 Lalande	5. ^a	4. 4	12° 20'
Omicron Eridani	3. ^a	4. 1	11° 22'
Mu Casiopeæ	6. ^a	3. 8	10° 30'
Alfa Centauri	1. ^a	3. 7	10° 15'

La primera de estas estrellas, aunque ofrece un movimiento propio más importante que sus compañeras, necesita 185.000 años para efectuar su revolución en el cielo, al paso que *mu* de Casiopea completaría su circuito en 340.000 años. A pesar de la lentitud de estos movimientos, hay que estimarlos como de cierta importancia, en comparación con los de las demás estrellas de igual magnitud. Como regla general, puede decirse que las estrellas de cuarta, quinta y sexta magnitud se mueven tan sólo unos cuantos segundos en cien años, necesitando por lo tanto varios millones para completar su circuito en los cielos.

Según los trabajos del profesor Oudemans, para que las estrellas que se alejan de la Tierra, ó se acercan á ella en el sentido visual, parezcan más ó menos brillantes en un décimo de su magnitud, se necesitan períodos de tiempo considerables.

Desde los tiempos de Ptolemeo hasta la fecha, Aldebarán hubiera experimentado, por su mayor distancia de la Tierra, una disminución en su brillo igual á 0,1 de magnitud. Proción exige 5.500 años para el mismo resultado, y otras estrellas más de 10.000 años.

Por lo que hasta la presente se ha observado y podrá observarse de aquí á muchos siglos, tienen lugar estos movimientos en línea recta; si cada estrella se mueve en una órbita que le sea propia, debe ser ésta tan inmensa, que no se percibe curvatura alguna en el pequeño arco que ha descrito el astro desde que se determinó su posición con verdadera escrupulosidad. No hay motivos para suponer, si nos hemos de apoyar exclusivamente en las observaciones efectuadas, que las estrellas se muevan en órbitas de tal ó cual clase; cierto es que Maedler trató de demostrar, examinando el movimiento propio de las estrellas, que todo el universo estelar giraba alrededor de Alcione, que es una de las Pléyades, la cual

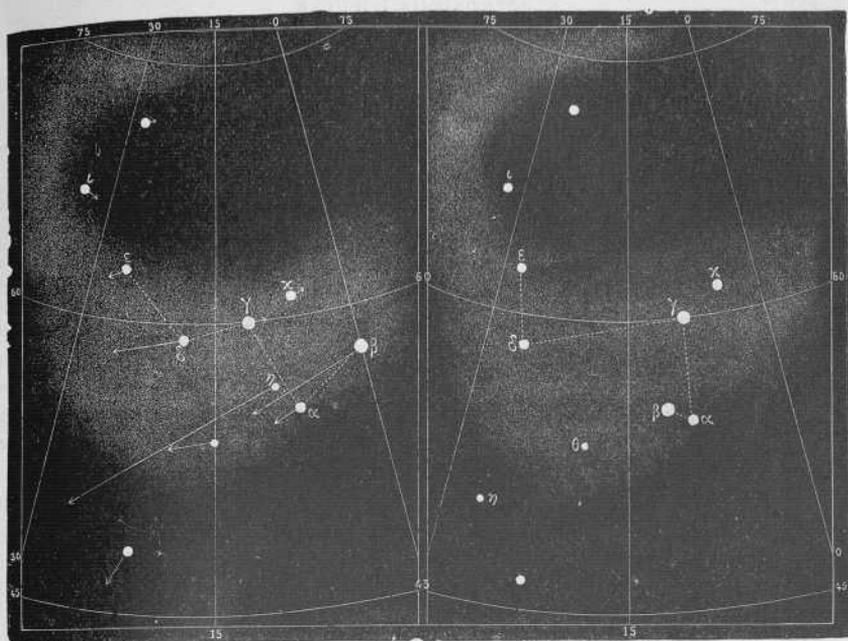


Fig. 92. - Casiopea en nuestra época y dentro de 36.000 años

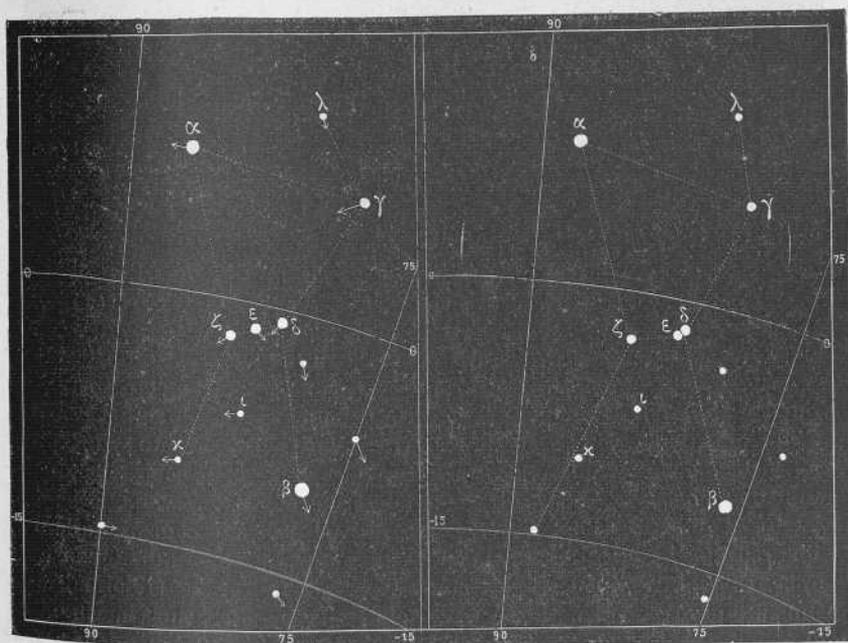


Fig. 93. - Aspecto de la constelación de Orión en nuestra época y dentro de 36.000 años

teoría, por su grandeza misma, fué acogida y divulgada por muchas gentes. Pero esta hipótesis no descansa en ningún fundamento sólido y únicamente puede considerarse como una mera especulación; hasta ahora no se ha descubierto que las estrellas se muevan en órbitas regulares, por manera que no es posible señalar cuál sea su centro común de movimiento; las estrellas se mueven en todas direcciones y con distintas velocidades, sin enlace ni concierto alguno, y aunque es verdad que, llevando en cuenta el movimiento propio medio, podemos deducir alguna ley, indica ésta, no una órbita de clase particular, sino tan sólo un

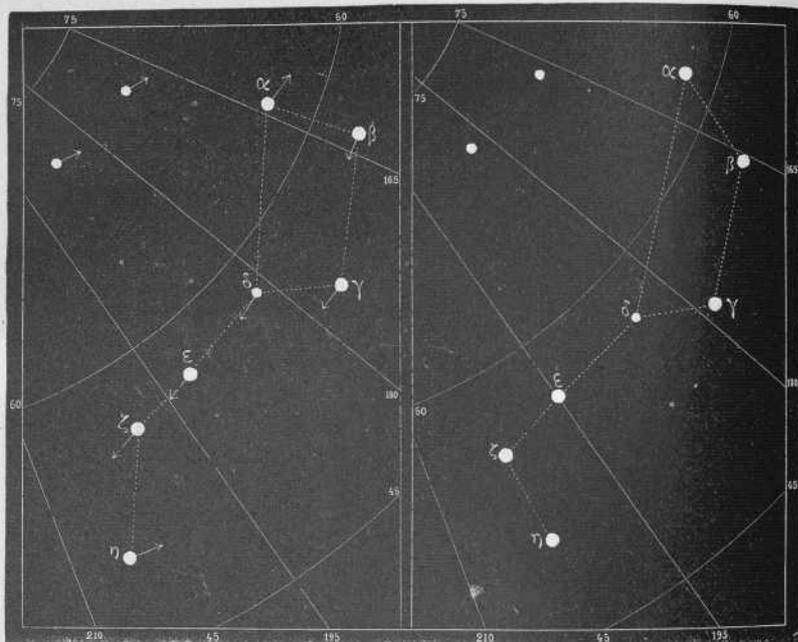


Fig. 94. — Movimientos propios de las estrellas de la Osa mayor
1. Forma actual de la constelación. — 2. Su aspecto dentro de 36.000 años

movimiento propio aparente, común á todas las estrellas y que probablemente se debe á un movimiento real de nuestro Sol y sistema solar completo.

Supuso Herschel que podía reconocerse la tendencia común de las estrellas, prescindiendo de ciertos desvíos individuales, á alejarse del punto ocupado por la estrella zeta de la constelación de Hércules, encaminándose hacia el punto diametralmente opuesto, que está situado en la constelación del Navío; esta tendencia la atribuye á un movimiento del Sol y su sistema en dirección contraria. Nadie que reflexione con la debida atención sobre el asunto, se sentirá inclinado á negar la suma probabilidad, ó más bien la certidumbre, de que el Sol tenga un movimiento propio en una dirección cualquiera; y la consecuencia inevitable de este movimiento, en que no toman parte las estrellas, debe ser una tendencia aparente de todas ellas, ya más, ya menos indicada según su posición, pero siempre

lenta, hacia el punto evanescente de las líneas paralelas á la dirección del movimiento, que van á reunirse en la región de donde el Sol se aleja.

Es este un efecto necesario de la perspectiva, que positivamente podría descubrirse por medio de observaciones adecuadas, si conociésemos con exactitud los propios movimientos aparentes de todas las estrellas, y estuviésemos seguros de su mutua independencia, esto es, de que todo el firmamento, ó por lo menos toda esa parte que tenemos más inmediata, no fuese llevado simultáneamente en una misma dirección en virtud de una fuerza general, resultado de procedimientos desconocidos y de modificaciones internas, que pudieran verificarse muy despacio en la estratificación sidérea á que pertenece nuestro sistema; así como vemos los corpúsculos que revolotean en el aire arrastrados por una de sus corrientes, conservar entre sí, próximamente, la misma situación relativa.

Después de Herschel, investigó Argelander el mismo asunto, determinando por medio de observaciones numerosas y delicadas el punto de convergencia; otros astrónomos le siguieron, y los puntos del cielo que de todos sus cálculos se deducen y á los que el Sol se encamina, son los siguientes:

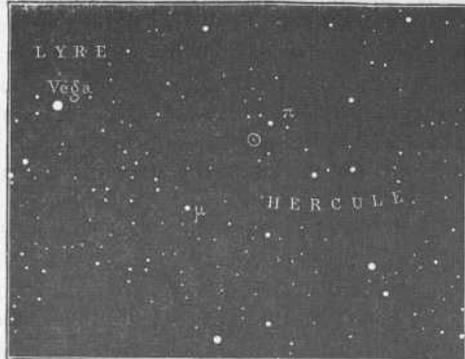


Fig. 95. - Punto de la constelación de Hércules hacia donde se dirige el Sol

	Ascensión recta	Declinación
Argelander.	257° 49	28° 50' N.
Struve	261 22	37 36
Lundahl.	252 24	34 26
Galloway.	260 1	34 23
Maedler.	261 38	39 54
Airy y Dunkin.	262 29	28 58

Se observará que hay algunas discrepancias en cuanto al punto exacto, según las autoridades de que proceden los datos, y por lo tanto, una mediana incertidumbre acerca del lugar en que debemos situarlo; pero si marcamos en una carta celeste las coordenadas anteriores, veremos que caen todas en la constelación de Hércules y dentro del circulito indicado en la fig. 95. En cuanto al valor del movimiento, halló Struve que, si se observase desde una estrella media de primera magnitud, colocada en tal situación respecto de nosotros, que formase un ángulo recto con la dirección del movimiento del Sol, parecería caminar éste con una velocidad de 33"9 cada siglo. Dunkin dedujo un movimiento casi igual ó de 33"5, que corresponde á una velocidad de 165.000 leguas ó 7,6 kilómetros por segundo.

También hay en los cielos ejemplos de grupos de estrellas muy extensos, que

poseen movimientos propios que difieren del que ofrecen las estrellas más inmediatas. Estos grupos deben formar sistemas combinados, en cuyo movimiento se encuentran arrastradas todas las estrellas sin modificación sensible de sus posiciones relativas; el caso más notable de esta clase se encuentra en la constelación del Toro; la gran mayoría de las estrellas más brillantes de la región comprendida entre Aldebarán y las Pléyades, poseen un movimiento propio hacia el Oeste, de unos diez segundos por siglo.

De modo que las estrellas que los antiguos llamaban fijas tienen movimientos; es verdad que necesitan acumularse durante siglos enteros, antes de producir alteraciones de colocación perceptibles á la simple vista, y aun cuando sean bastantes para desvanecer completamente esa idea de fijeza matemática que cierra la puerta á toda especulación, son, sin embargo, demasiado insignificantes en punto á las aplicaciones prácticas, para motivar una mudanza de lenguaje, y para que en el modo común de expresarnos, tratemos á las estrellas en otro sentido que el de fijas.

También podemos afirmar que jamás llegaremos á saber de un modo absoluto el camino que seguimos en el espacio, y otro tanto podemos decir de todos los cuerpos del mundo solar. La Luna circula alrededor de la Tierra, pero la elipse que describe sólo nos da un movimiento relativo, pues al mismo tiempo que la Tierra, gira en torno del Sol, y, suponiéndolo inmóvil, resulta que nuestro satélite describe una curva de varias inflexiones, una especie de cicloide más complicada aún á causa de las perturbaciones planetarias. Pero como acabamos de ver que nuestra estrella ó Sol se mueve, la curva de la órbita lunar se encuentra arrastrada en este movimiento y se complica de nuevo su forma en el espacio, sin que sea posible calcular dónde ni cuándo termina esta confusión de líneas y movimientos.

CAPITULO III

LAS NEBULOSAS

nebulosas estelares, planetarias y estrellas nebulosas. - Nébulas notables, espirales y de forma irregular. - La Vía láctea y los grupos de nebulosas. - Distribución de las nebulosas - Fotografía estelar.

Por regla general se dividen las nebulosas en:

1.º Cúmulos de estrellas, en los cuales pueden éstas distinguirse claramente, subdividiéndolas luego en cúmulos globulosos ó irregulares, que ya hemos estudiado.

2.º Nébulas resolubles, ó aquellas que dan indicios de estar compuestas de estrellas, y que puede esperarse que el aumento sucesivo en la amplificación de los anteojos llegue á resolver en estrellas distintas.

3.º Nébulas, así llamadas con propiedad, en las que no se advierte apariencia alguna de estrellas, subdivididas también en clases subordinadas con arreglo á su esplendor y tamaño.

4.º Nébulas planetarias.

5.º Nébulas estelares.

6.º Estrellas nebulosas.

La fuerza extraordinaria de los modernos anteojos y telescopios nos ha revelado la existencia de un número inmenso de esta clase de objetos, haciéndonos ver que su distribución en el cielo no es en manera alguna uniforme, sino que, generalmente hablando, se observa en ella cierta preferencia señalada hacia una zona de bastante anchura que cruza la Vía láctea casi en ángulo recto y cuya dirección general no va muy separada de la del círculo horario de 0^h y 12^h . En algunas partes de esta zona, y con particularidad en los parajes por donde atraviesa las constelaciones de la Virgen, Cabellera de Berenice y Osa mayor, son muy abundantes, pero casi siempre telescópicas y fuera del alcance de todo lo que no sea un instrumento de primer orden.

Los cúmulos de estrellas, ó son globulosos como los que hemos descrito, ó de forma irregular. Estos últimos, comúnmente menos abundantes en estrellas, y especialmente de menor condensación hacia el centro, presentan asimismo contornos peor definidos; tanto, que muchas veces no es fácil decidir en dónde terminan, ó si deben mirarse bajo otro aspecto que el de meras porciones de cielo más copiosamente dotadas de estrellas que las circunvecinas.

En algunos de ellos, las estrellas son casi todas de un tamaño; en otros, por todo extremo diferentes; y no es cosa extraña el encontrar una estrella muy roja, mucho más brillante que las demás, en alguna posición reparable respecto del

conjunto. Herschel los consideraba como cúmulos globulosos, menos adelantados en el progreso de su condensación; dando por sentado que todos estos grupos se van aproximando, por efecto de la atracción mutua de sus miembros, á la figura globular; y congregándose de todas las regiones circunstantes en virtud de leyes, de que no tenemos á la verdad otra prueba más que la observancia de una gradación insensible, por la cual van pasando sus caracteres de uno en otro, de forma que no es dable determinar dónde acaba una especie y empieza la otra.

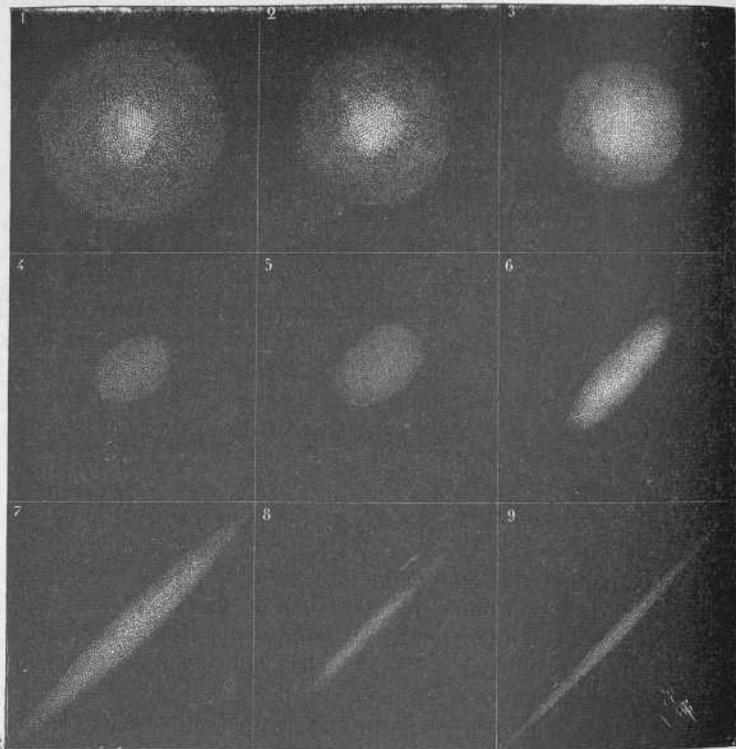


Fig. 96. — Nébulas de forma regular, según Herschel

Las nébulas resolubles sólo pueden considerarse como cúmulos, ó demasiado remotos, ó formados de estrellas intrínsecamente demasiado débiles para que podamos percibir la luz de cada una de por sí; y sólo cuando dos ó tres aciertan á estar bastante juntas, la impresión que así reunidas producen nos da la idea de un punto más brillante que los demás. Casi todas son redondas ú ovaladas, perdiéndose, por decirlo así, en la distancia todo apéndice suelto é irregularidad de figura, y quedando sólo discernible la forma general de las partes más condensadas. Bajo este aspecto y carácter es como se presentan todos los cúmulos globulosos, aun los de mayor tamaño, en los anteojos de fuerza óptica insuficiente para que se vean con toda distinción; y la consecuencia que de

esto se deduce es obvia, á saber: que hasta aquellos que los mejores telescopios apenas pueden hacer resolubles, se resolverían completamente, dando mayor amplificación á estos instrumentos.

De nébulas propiamente dichas hay asimismo gran variedad; entre ellas es sin disputa una de las más notables la de Orión, que circunda á la estrella cuádruple ó más bien séptuple theta, que forma la empuñadura de la espada. Huyghens la describió en 1659 en los términos siguientes:

«Entre las estrellas fijas se advierte un fenómeno digno de consideración, y en el que hasta ahora, que yo sepa al menos, nadie ha reparado, si bien es verdad que para observarlo se necesitan grandes anteojos. En la espada de Orión hay tres estrellas casi unidas; en 1656, cuando casualmente observaba la de en medio con

el antejo, en vez de hallar una sola estrella, se me aparecieron doce; de ellas había tres, que casi se tocaban y con otras cuatro brillaban á través de una nébula, de modo que el espacio que las rodeaba parecía más brillante que el resto del cielo, cuyo aspecto era negro, lo cual se debe á una abertura del cielo que nos permite divisar una región más brillante.»

Esta nota, que se encuentra en el *Systema Saturnium*, parece indicar que tanto Huyghens como los observadores que le precedieron, consideraban que las nébulas eran agujeros ó roturas del firmamento, por las que se podía columbrar el empireo.

Mairán y Messier, en 1750 y 1771 respectivamente, se ocuparon también de esta magnífica nébula, y sus dibujos, principalmente el de este último astrónomo, demuestran ya el

carácter grandioso de este objeto (fig. 99); la región de Huyghens se representa con mayor exactitud en su forma y con más brillo; también se perciben unas masas nebulosas de tono más débil, hacia la parte occidental. Huyghens sólo columbró 12 estrellas, 6 de las cuales se proyectaban sobre la nebulosidad;



Fig. 97. - Nébula de Orión, dibujo de Huyghens en 1659

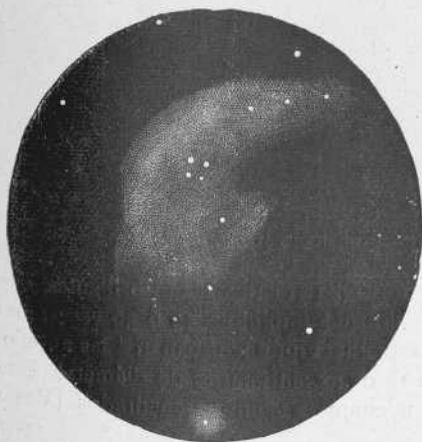


Fig. 98. - Nébula de Orión, dibujo de Mairán en 1750

Mairán agregó la décimatercera, que corresponde á la componente cuarta de theta, cuyo descubrimiento se atribuye á Cassini. De las 31 estrellas que se distinguen en el dibujo de Messier, pertenecen 22 á la nébula, cuya extensión mide cerca de la dozava parte de un grado cuadrado.

Todos los astrónomos modernos, á lo menos una vez en su vida, se han ocupado del estudio de la gran nebulosa de Orión; Struve, Herschel, Vico, Pórró, Rosse, Secchi, Bond y otros muchos la han dibujado y analizado por todos los medios de que hoy dispone la ciencia. Desde el hemisferio boreal no es posible columbrar una nébula más brillante ni más rica en detalles. El punto cén-

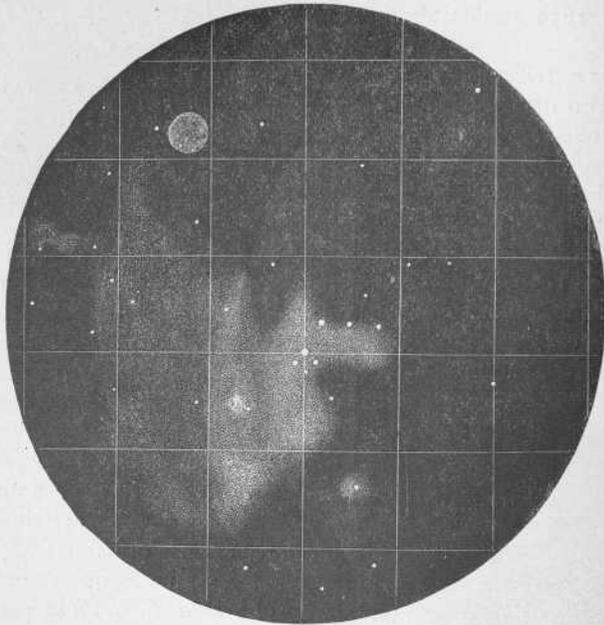


Fig. 99. — La gran nébula de Orión, dibujo de Messier en 1771

trico de mayor interés lo ocupan cuatro estrellas relativamente brillantes, que pueden percibirse con un mediano anteojó que amplifique 40 ó 50 veces; mas para columbrar las otras dos pequeñas estrellitas que acompañan á las anteriores, se necesita un buen instrumento de 18 ó 20 centímetros de diámetro. Este grupo séptuple ocupa un espacio de unos cuantos segundos cuadrados. (Véase la lámina adjunta.)

De la comparación de los dibujos de determinadas nébulas, hechos en distintas épocas, parece resultar que sufren grandes cambios de forma; en particular ofrece este carácter la nebulosa que envuelve á la estrella del Navío ó eta de Argos, y que representamos en la lámina de la pág. 197. Dice Herschel que, «observada con un telescopio de 45 centímetros, no presenta traza alguna de resolución; la parte más condensada, adyacente al hueco de forma ovalada que se ve en medio de la figura, no tiene el mismo aspecto compacto, ni la tendencia á



LA GRAN NEBULOSA DE ORIÓN, según un dibujo de G. P. Bond

dividirse en nudos brillantes que caracteriza á la nébula de Orión é indica su posible resolución.»

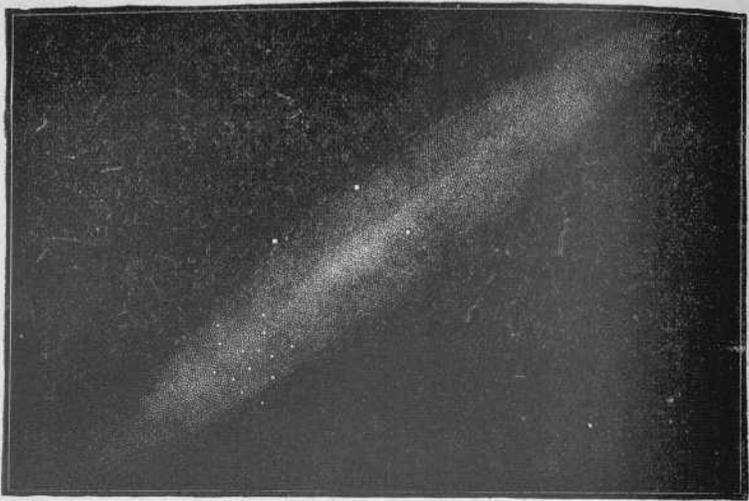


Fig. 100. - Nébula de Andrómeda

La fig. 100 representa una nébula de un carácter enteramente distinto, cuyo original se halla en la constelación de Andrómeda; es visible á la simple vista,

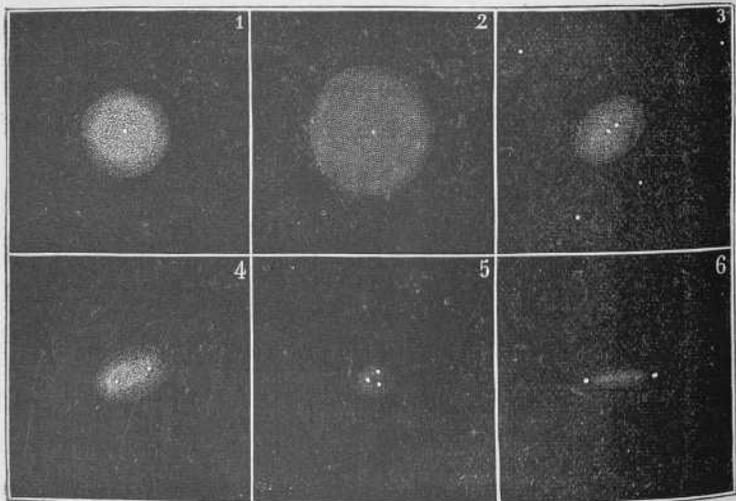


Fig. 101. - Estrellas nebulosas, según Herschel: 1, del Cisne; 2, de Perseo; 3, del Centauro; 4, del Sagitario; 5, del Cochero; 6, de la Hidra

y las personas no versadas en el conocimiento del cielo la equivocan á menudo con un cometa. Simón Mario, que reparó en ella en 1612, describe su aspecto



NEBULOSA DE LA DORADA Y DE ETA DE ARGOS, dibujos de J. Herschel

1. Nebulosa de la Dorada. - 2. Nebulosa circundante de la estrella Eta de Argos

como el de una luz que brillase al través de talco, y la comparación no deja de ser bastante propia. Su forma es la de un óvalo medianamente prolongado, que aumenta de esplendor por grados insensibles; al principio con suma lentitud, pero luego con más rapidez, hacia un punto céntrico; el cual, aunque mucho más brillante que todo lo demás, no presenta, sin embargo, visos de estrella, sino tan sólo de nébula en un estado de suma condensación. Herschel consideraba



Fig. 102. - Nébula elíptica de Andrómeda, dibujo de Bond en 1848

que este objeto no ofrecía el menor indicio de que pudiera estar compuesto de estrellas. Pero en 1848 consiguió Bond contar en la hasta entonces irreductible nébula 1.500 estrellas, valiéndose de un hermoso anteojó de 38 centímetros. No se ha podido todavía resolver el núcleo, pero se cree que toda la nébula está compuesta de estrellas.

Esta puede considerarse como el tipo, en punto mayor, de una clase muy numerosa de nébulas, de figura redonda ú ovalada, que aumentan más ó menos de densidad hacia el punto central, aun cuando, bajo este respecto, difieren extremadamente. En unas la condensación es leve y gradual, en otras considerable y repentina, tan repentina á la verdad, que presentan el aspecto de una estrella mal terminada y borrosa, en cuyo caso se les llama *nébulas estelares*.

Las *estrellas nebulosas* ofrecen el espectáculo vistoso y sorprendente de una estrella bien terminada y brillante, rodeada de un disco ó atmósfera perfectamente circular de luz amortiguada, que en algunos casos va desvaneciéndose por todas partes con una gradación insensible, y en otros se termina casi de repente.

Un ejemplar lindísimo de esta clase de estrellas nos presenta la γ Andromedæ; otra la del Cochero, etc. También son nebulosas epsilon é iota Orionis, pero no puede percibirse la nebulosidad sin anteojos de mucha amplificación.

En punto á desvío de la forma esférica que afectan las nébulas ovaladas, se observa asimismo gran diversidad; unas son levemente elípticas; otras muy prolongadas, y aun algunas se alargan de manera que toman el aspecto de un rayo luminoso largo y angosto, que pudiéramos caracterizar de fusiforme, porque va adelgazándose hacia sus dos extremos, hasta terminar en punta.

También hay nébulas anulares, si bien se cuentan entre los objetos que con más escasez presenta el cielo. La más señalada de esta clase, que puede verse con un antejo regular, se halla exactamente

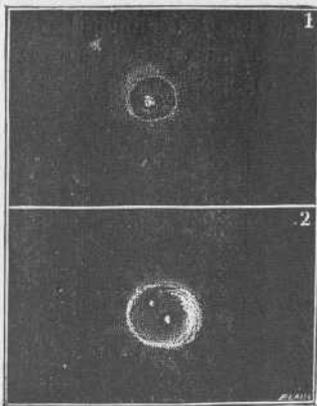


Fig. 103. - Estrellas nebulosas, según Rosse: 1, de los Gemelos; 2, del Navío.

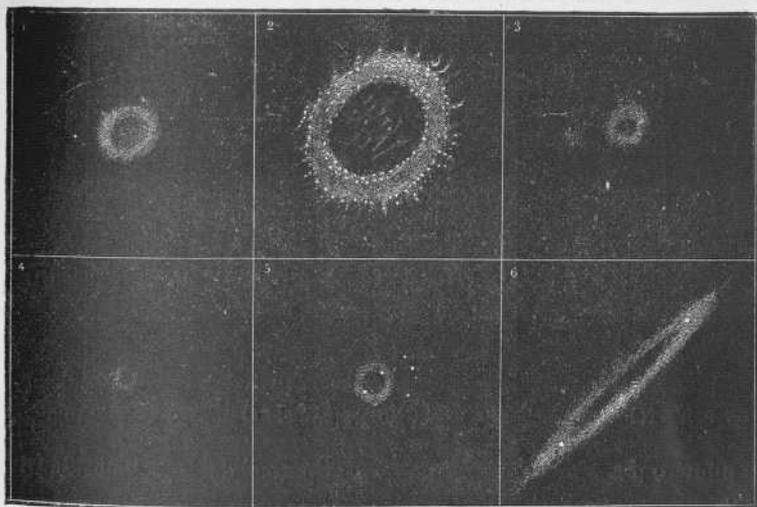


Fig. 104. - Nébulas anulares: 1, de la Lira, según Herschel; 2, de la Lira, según Rosse; 3, del Cisne; 4, de Ofiuco; 5, del Escorpión; 6, de Andrómeda

en medio de las estrellas beta y gamma de la Lira (fig. 104); es pequeña y notable por lo bien terminada, de forma que más parece un anillo sólido, plano y ovalado, que nébula. Los ejes de la elipse están entre sí, próximamente, en la

razón de 4 á 5, y la abertura ocupa casi la mitad de su diámetro. Su luz no es enteramente uniforme, antes está como á cuajarones, especialmente hacia el margen exterior; la abertura central no aparece del todo obscura, sino que contiene una luz débil, indecisa, distribuida con uniformidad por toda ella, á manera de una gasa sutil extendida sobre un aro.

Observadas con el refractor de Lick, de 36 pulgadas, por el profesor Holden,



Fig. 105. — Nébulas planetarias, según Herschel: 1, de los Peces; 2, de la Osa mayor; 3, de Andrómeda

se han visto doce estrellas dentro del anillo ó proyectadas sobre él, y muestra que la nébula está compuesta de una serie de óvalos ó elipses: primero, el anillo de estrellas; luego, los bordes interno y externo de la nebulosidad; después, un anillo de estrellas débiles alrededor del borde del anillo interior, y por último,

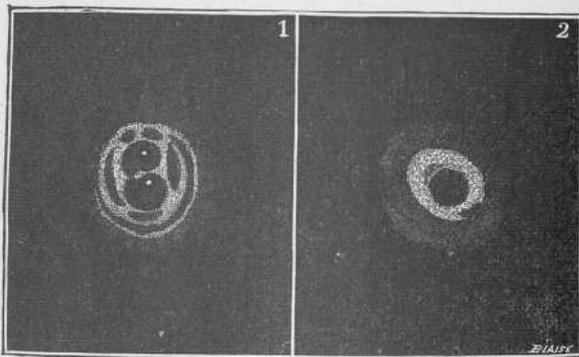


Fig. 106. — Nébulas planetarias, según Rosse: 1, de la Osa mayor; 2, de Andrómeda

cierto número de estrellas situadas en varias partes de la nebulosidad y óvalo externo.

En las constelaciones del Cisne y de Ofiuco se encuentran también dos nébulas, una ovalada y la otra redonda; la primera tiene mucha analogía con la de la Lira. En la nébula del Escorpión, además de la forma oval del anillo, que es bastante pronunciada, se distinguen dos estrellas en los extremos del diámetro menor. Pero en una nébula anular próxima á la hermosa estrella triple gamma Andromedæ, se percibe el anillo excesivamente prolongado, su eje mayor mide

más de 10 minutos, y en sus extremos se encuentran situadas dos estrellas con perfecta simetría. Dice Herschel que debe ser un anillo delgado de forma plana y visto oblicuamente.

Las *nébulas planetarias* son objetos muy extraordinarios. Tienen, como su

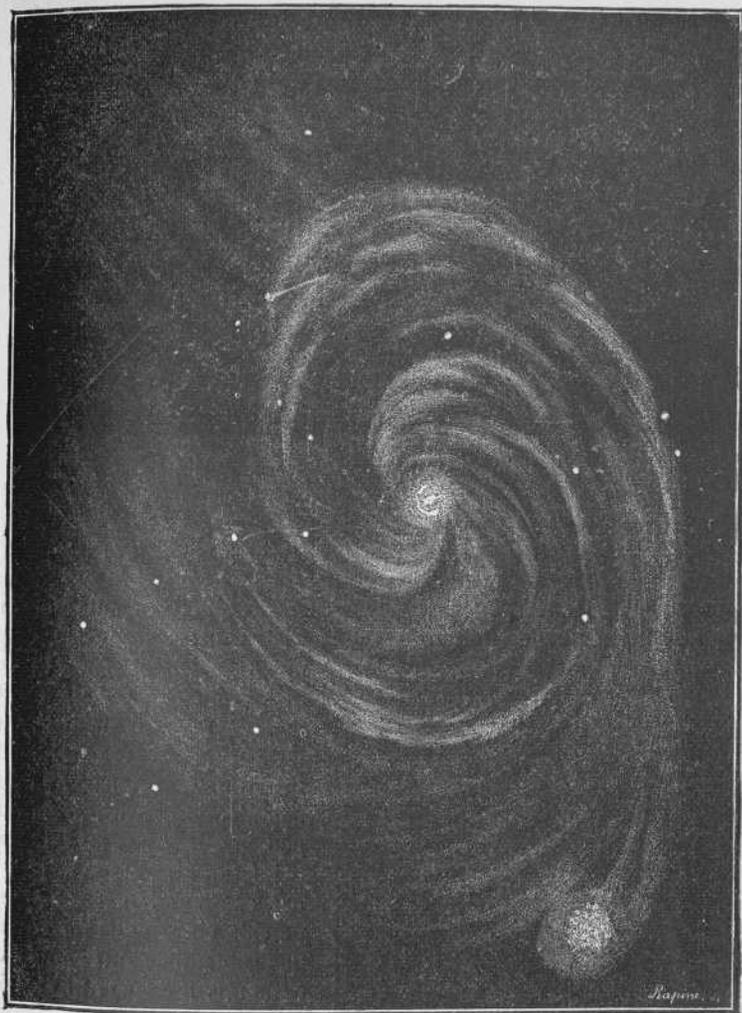


Fig. 107. — Nébula de los Perros de caza, según Rosse

nombre lo da á entender, un aspecto exactamente igual al de los planetas; discos redondos ó levemente elípticos, terminados con toda distinción en unos casos, en otros algún tanto borrosos hacia los márgenes, y siempre de una luz uniforme, ó sólo algún tanto moteada, que en algunos de ellos se aproxima en esplendor

dor á la de los verdaderos planetas. Cualquiera que sea su naturaleza, deben ser de un tamaño enorme. Una de éstas, en la constelación de Andrómeda, presen-



Fig. 108. - Nébula espiral de Cefeo, según Stoney

ta un disco visible de $12''$ perfectamente cortado y redondo. Dando por sentado que estos objetos se hallen de nosotros á la misma distancia que las estrellas, sus dimensiones efectivas deben ser tales, que podrían llenar, según el cómputo más reducido, toda la órbita de Urano. Y no es menos evidente que, en caso de ser cuerpos sólidos de naturaleza parecida á la del Sol, el esplendor intrínseco de sus superficies debe ser casi infinitamente inferior al de la de nuestro lumínar, como se colige de que una porción circular del disco del Sol que subtendiese un ángulo de $20''$, daría una luz igual á la de *cien lunas llenas*, al paso que los objetos que consideramos, si no absolutamente invisibles, apenas son perceptibles á la simple vista.

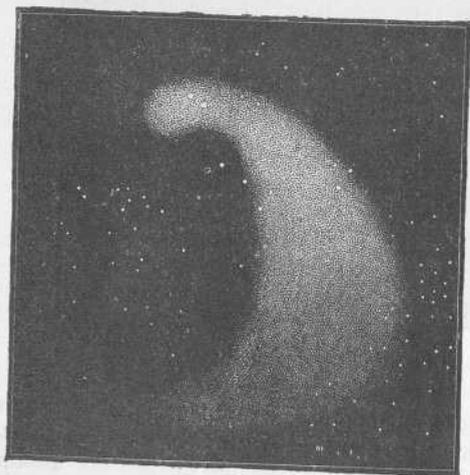


Fig. 109. - Nébula del Navío, según Herschel

Apoyándose Herschel en la uniformidad de sus discos, y en la falta de condensación aparente

central que en ellos se advierte, suponía que su luz era meramente superficial y que en su naturaleza participaban algo de la de una esfera hueca. Pero luego se



Fig. 110. - Nébula espiral de la Osa mayor, según Hunter

ha visto por lord Rosse que el disco de la nébula planetaria de la Osa mayor, verbigracia, cuya luz parecía á Herschel uniforme, muestra una doble corona lu-

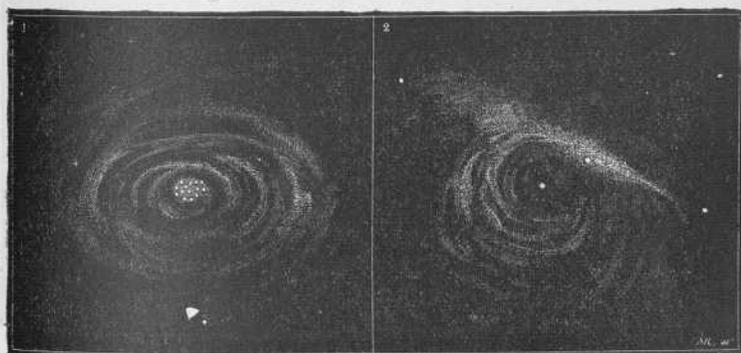


Fig. 111. - Nébulas del León y de Pegaso, según Rosse

minosa y una nebulosidad central con dos puntos brillantes como dos estrellas. Otro ejemplo de estas modificaciones lo hallamos en la nébula de Andrómeda, redonda para Herschel y que Rosse nos dibuja como un anillo luminoso, con algunos puntos brillantes de origen probablemente estelar.

El descubrimiento de las nébulas espirales se debe á lord Rosse. La mejor conocida se encuentra en la constelación de Canes Venatici; para Herschel presentaban el aspecto de un cúmulo globuloso ancho y brillante, rodeado por

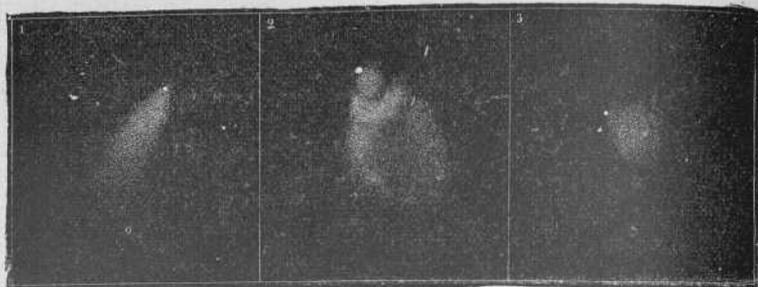


Fig. 112. — Nébulas de aspecto cometary: 1, del Eridano, según Herschel; 2, del Unicornio, según Rosse; 3, de la Osa mayor, según Herschel

un anillo, á una distancia considerable del globo, de esplendor variable en sus diversas partes, dividida como en dos láminas hacia los dos quintos de su cir-

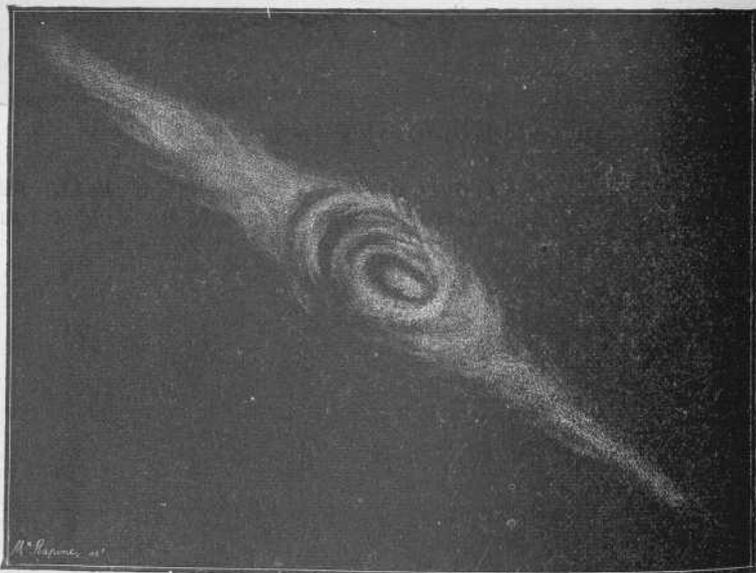


Fig. 113. — Nébulas elíptico-espiral del Leon, según Rosse

conferencia. Cerca de la nébula principal se percibe otra redonda, pequeña y brillante.

En el gran telescopio de lord Rosse varía por completo el aspecto de este objeto maravilloso. El anillo se convierte en una espiral de materia nebulosa brillante, sembrada de estrellas; el centro de figura y el extremo de la espiral

parecen de carácter resoluble. Los filamentos externos de esta prodigiosa curva se juntan con la pequeña nébula exterior que, con instrumentos inferiores, aparecía separada del anillo. De más está decir que ninguno de estos detalles se distingue con los anteojos de moderado poder óptico, pues éstos sólo indican una mera mancha luminosa.

Otra nébula espiral de proporciones inmensas es la de la Virgen; se le ven



Fig. 114. - Nébula de la Raposa, según Rosse

como cuatro aspas encorvadas en una misma dirección, separadas por intervalos negros, que parten de un núcleo central mucho más brillante.

Son también interesantísimas las nébulas de Cefeo (fig. 108) y de la Osa mayor (fig. 110); ambas presentan una condensación globulosa en el centro, de donde parten como las patas de una araña inconcebible; en estos apéndices se observan también centros de condensación. Herschel clasificó la nébula de la Osa mayor entre las de forma redonda ó globular, porque su telescopio no era de bastante potencia para revelarle los misterios de este notable objeto.

Lord Rosse llegó á catalogar unas cuarenta nébulas de carácter espiral marcado, y sobre treinta que acusaban una tendencia análoga; de esta última clase

puede servir de ejemplo la del Navío ó Argos, que representamos en la fig. 109. De esta configuración podemos pasar á la que ofrecen las nébulas semi-elípticas ó semi-espirales como las del León y de Pegaso (fig. 111). En la misma constelación del León hay otra nébula que para Herschel era fusiforme y semejante á la de Andrómeda, y que lord Rosse con su gran telescopio (fig. 113) incluyó en la categoría de las semi-espirales; el núcleo central está compuesto de varias



Fig. 115. - Nébula de la Raposa, según Lassell

envolturas que afectan una forma circular y los extremos del óvalo presentan unas estrías luminosas que se extienden á ambos lados del eje.

Ya dijimos, al hablar de los cometas, que estos cuerpos pueden confundirse con las nébulas si en vez de considerar su movimiento propio á través de las constelaciones, se atiende sólo á su aspecto de cuerpos nebulosos; en la fig. 112 se ven tres ejemplos de esta clase de nébulas, que presentan una estrella ó núcleo brillante de donde arranca la cola, que apenas si se diferencia de la que nos muestran los cometas.

Muchas de las nébulas que en anteojos de mediano y gran poder óptico, pero no colosal, presentan simetría en su forma y aparecen con claro derecho á

ser reputadas por sistemas de naturaleza particular y definida, se reducen y modifican al ser observadas con los poderosos telescopios de estos últimos tiempos. Por ejemplo, la nébula de la Raposa, que Herschel describe como compuesta de dos partes redondas ó ligeramente ovaladas, brillantes, y en estado de suma condensación, unidas por medio de un brazo corto, casi de la misma densidad; una atmósfera débilmente luminosa completa la figura, envolviéndolas á entrambas y llenando el contorno de una elipse á ellas circunscrita, cuyo eje menor es el eje de simetría del sistema; por la forma característica que presentaba esta nébula, le dieron los ingleses el nombre de *badajo de campana* y los franceses el de *bilboquet*, aparato gimnástico (*halter*) compuesto de dos bolas de hierro unidas por un travesaño que sirve de empuñadura.

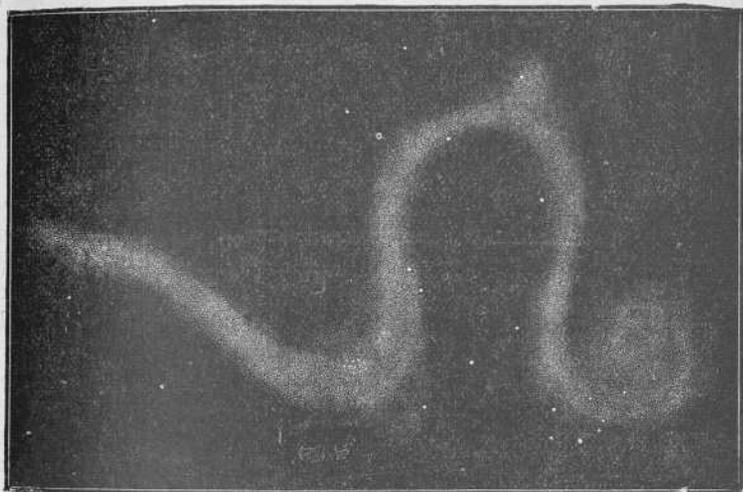


Fig. 116. — Nébula del Escudo de Sobieski, según Herschel

Esta forma desapareció, y con ella la simetría, en cuanto se aplicó al examen del objeto el telescopio de lord Rosse, manifestando las masas nebulosas una marcada tendencia á la resolución estelar, la cual se hizo más patente cuando el opulento astrónomo pudo estudiar la nébula con otro telescopio, producto asimismo de sus manos, de seis pies ingleses de diámetro, si bien, en este caso, recuperó la nébula su simetría primitiva.

Lassel también se ocupó del estudio de esta nébula, y la fig. 115 representa uno de sus dibujos.

Insinuamos antes que algunas nébulas parecían presentar cambios en sus formas, cuyo conocimiento se obtuvo comparando los dibujos de varios astrónomos. Mas si se considera cuán dificultoso es representar con fidelidad un objeto de esta clase, y cuán completamente varía su aspecto, aun con un mismo telescopio, según lo despejado de la atmósfera, ó por otras causas transitorias, desde luego convendremos en la falta de testimonios suficientes para acreditar un hecho de tanta importancia.

Decimos esto, porque una hermosa nébula situada en el hemisferio austral, en la constelación del Escudo de Sobieski, llegó á ser conocida como la *nébula omega* por su semejanza con la letra griega mayúscula llamada así. Examinado posteriormente este objeto por el profesor Holden, y por Trouvelot con el magnífico antejo de Wáshington, hallaron que la nébula difería grandemente de la forma que indicaban los dibujos de Herschel.

Otra nébula de forma verdaderamente notable es la del Toro; en los anteojos



Fig. 117. — Nébula del Toro, según Rosse

medianos aparece como un óvalo bastante regular, pero en el gran telescopio de lord Rosse toma la forma que representa la fig. 117, que algunos han comparado, y no sin razón, á un gigantesco bogavante ó langosta de mar cuyas patas y antenas figuran largas filas de estrellas.

Así como hemos visto que hay grupos de estrellas dobles, triples y múltiples, existen en el cielo asociaciones de nébulas enlazadas físicamente, que presentan las mismas variedades de forma y aspecto que sus componentes individuales; unas aparecen como dos cúmulos globulosos, en los que la condensación central indica, no sólo una figura esférica, sino también la existencia probable de verdaderos centros de atracción.

A veces se observan los núcleos ó centros como separados y distintos, y otras se confunden y reunen, bien por una causa física real, ora por un simple efecto de perspectiva. También ocurre que una de las componentes es redonda ó globular, mientras que la otra afecta la forma elíptica prolongada. La nébula que representa la fig. 119 se compone de dos masas redondeadas, que terminan en unos apéndices radiados, unidos por una nebulosidad común; á cierta distancia se distinguen unos arcos ligeros, luminosos.

En el hemisferio austral, no muy distantes del polo, se encuentran las famosas Nubes de Magallanes, que los astrónomos designan con los nombres *Nubecula Major* y *Minor*. La primera está situada en la constelación de la Dorada y

la segunda en la del Tucán; su forma es ovalada y ambas son visibles á la simple vista, cuando no se halla la Luna sobre el horizonte. Se distinguen las Nubes de Magallanes de todas las nébulas que hemos descrito hasta aquí, por sus

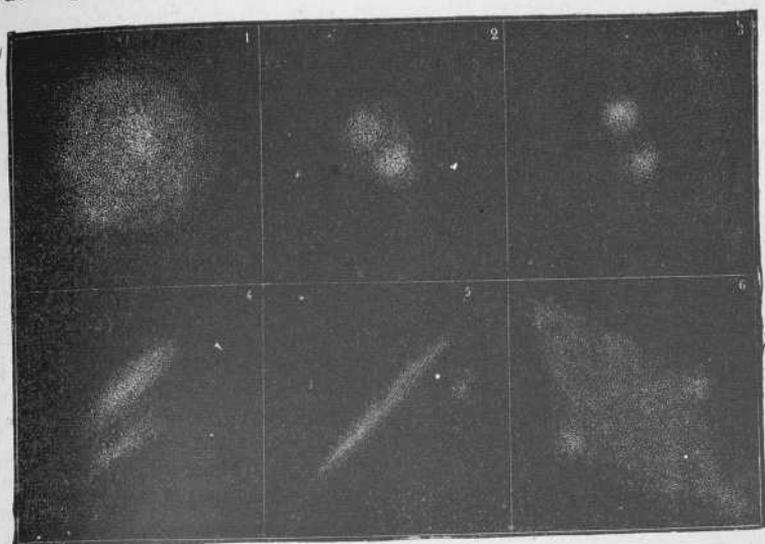


Fig. 118. - Nébulas dobles, según Herschel: 1, de la Virgen; 2, de los Perros de caza; 3, de Acuario; 4, de la Virgen; 5, de los Perros de caza; 6, de la Nube mayor

extraordinarias dimensiones y por su composición interna. La Nube mayor tiene una extensión de 42 grados cuadrados, que son doscientas veces la superficie aparente del disco lunar. La Nube pequeña ocupa en el cielo una superficie cuatro veces menor, ó sea de 10 grados cuadrados, poco más ó menos; según Humboldt, se encuentra rodeada por una especie de desierto, en el que sólo brilla el hermoso cúmulo estelar del Tucán.

Si el aspecto externo de estas notables nébulas y su situación en una zona celeste pobre en estrellas, dan al cielo austral un carácter *sui generis*, su estructura íntima forma en verdad una de las maravillas del firmamento. Herschel se ocupó mucho del estudio de estas nébulas, examinándolas en el Cabo de Buena Esperanza con su gran telescopio.

Distinguió primero un gran número de estrellas aisladas cuyo resplandor variaba de la 5.^a á la 11.^a magnitud; luego cúmulos estelares de forma irregular algunos, pero la mayoría presentaban un aspecto globular esférico ú ovalado; finalmente nebulosas, unas aisladas y otras por grupos de dos ó tres. Una de ellas,

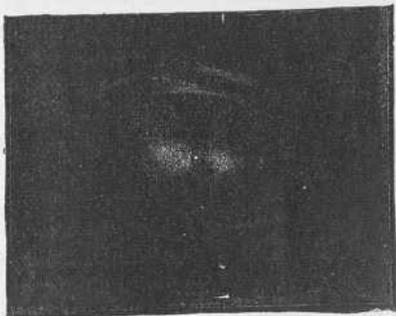


Fig. 119. - Nébulas dobles, según Rosse

según Humboldt, ocupa la vigésima parte del área total de la Nube mayor, y en ella encontró Herschel, determinando sus posiciones, 105 estrellas de 14.^a, 15.^a y 16.^a magnitud, que se proyectaban sobre un fondo nebuloso, de resplandor uniforme.

Trató Herschel de resolver el problema de la distancia de las nebulas, comparándola á la de las estrellas de una magnitud determinada. Considerando como esférica, poco más ó menos, á la Nube mayor de Magallanes y partiendo de sus dimensiones aparentes, que le asignan un diámetro de unos 3 grados, dedujo que entre las distancias de los objetos más lejanos de que se compone y las de los más inmediatos, hay una diferencia que no llega al décimo de la distancia



Fig. 120. - Nube mayor de Magallanes, según Herschel

que nos separa de su centro. En consecuencia, no puede aumentar mucho el destello de los objetos más próximos, ni debilitarse el de los lejanos, por esta diferencia de distancia. Sin embargo, en el interior de este espacio globular notó más de 600 estrellas de 7.^a, 8.^a, 9.^a y 10.^a magnitud; próximamente 300 nebulas, cúmulos globulosos y otros, de todos grados de resolución, y también innumerables estrellas pequeñas de magnitudes inferiores, desde las de 10.^a hasta las que constituyen la parte irresoluble de la nebulosidad; todo diseminado en una extensión de varios grados cuadrados. Si no se tratara más que de un objeto, se podría sostener, con alguna probabilidad, que su esfericidad aparente se debe tan sólo á un efecto de óptica, y que en rea-

lidad existe una diferencia mayor, proporcional á la distancia, entre las partes más próximas y las más lejanas. Pero semejante disposición, improbable aún en este único caso, debe rechazarse como de ningún fundamento si se trata de aplicar á otros.

Cierto número de nebulas forman parejas como las estrellas, según hemos visto antes, y pudiera esperarse que algún día se comprobara la existencia de dislocaciones de las componentes que indicasen un movimiento de revolución. Hasta ahora no se conoce ningún hecho que confirme esta conjetura. Sin embargo, la nébula doble 1.905 del catálogo de Herschel, que este astrónomo observó de 1825 á 1833, pudiera invocarse como ejemplo de movimiento propio y de revolución de las componentes. En efecto, en aquella época ocupaban la posición que indica la figura 123-1, y en 1861, en vez de ser los ejes paralelos, formaban, como indica la figura 123-2, un ángulo de 16 grados poco más ó menos.

La Vía láctea ó camino de Santiago, según la llama el vulgo, es una inmensa

nebulosa que rodea todo el cielo como un círculo máximo de la esfera. A la simple vista se presenta de un color blanco, como una nube brillante por sí misma y que participa del movimiento diurno como todas las demás estrellas, de modo que tiene sus horas de salida, paso por el meridiano y postura, variables según la época del año. La mitad del arco puede verse de una vez sobre el horizonte, y la otra mitad invisible se encuentra debajo y directamente opuesta; claro está que la región inmediata al polo austral jamás puede columbrarse desde la latitud de Europa.

Su anchura es variable, pues en unos puntos ocupa una zona igual á seis ú ocho veces el diámetro de la Luna, y en otros alcanza doce ó catorce grados; la mitad boreal se extiende desde el Aguila y la Serpiente (véanse las láminas de las págs. 213 y 215) hasta el Unicornio, á la altura y en la proximidad del Cinturón de Orión; dividida en dos ramas del ecuador hasta el Cisne, pasa cerca de Altair y atraviesa, además de las constelaciones citadas, la Flecha y la Raposa. En las inmediaciones del Cisne se distingue un espacio obscuro, una especie de agujero, por donde la vista penetra en los abismos del cielo. Uno de los brazos se dirige á la Osa menor y Cefeo, en cual punto es mayor su proximidad al polo boreal de la bóveda celeste. Se separa de seguida, como una rama única y estrecha que atraviesa á Casiopea, pasa por el Cochero, muy cerca de la Cabra, por la región oriental de los Gemelos, del Perro

menor y parte septentrional de Orión. Antes de llegar á este punto se percibe un brazo que arranca de Perseo y llega muy cerca de las Pléyades, donde se pierde.

La zona más luminosa de la Vía láctea, que algunas veces se emplea para expresar el resplandor de la Luz zodiacal, se encuentra en el Aguila y el Cisne; en Perseo y cerca del Unicornio es mucho menor su brillo.

La parte austral de la Vía láctea, después de salir del ecuador, pasa por Sirio y entra en Argos, aumentando progresivamente de esplendor. En este punto se divide en varios brazos que luego se desvanecen, para reunirse más tarde en la constelación del Centauro y la Cruz del Sur, en un punto en que la Vía láctea presenta su anchura mínima. Aquí se encuentran el famoso *Saco de Carbón*, espacio obscuro de forma de pera, tan notable que llama la atención del menos acostumbrado á contemplar las maravillas celestes. Este nombre le fué dado por los primeros navegantes que recorrieron el hemisferio austral; en este hueco, que mi-

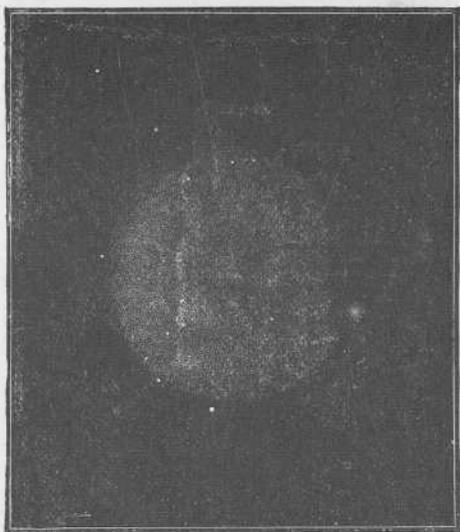


Fig. 121. - Nube menor de Magallanes, según Herschel

de unos 8 grados de largo por 5 de ancho, tan sólo se distingue una estrella á la simple vista, aunque las telescópicas son abundantísimas, por manera que su notable negrura se debe sencillamente á un efecto de contraste con el fondo brillante y luminoso que lo rodea por todas partes. En este punto también se encuentra la Vía láctea á su mínima distancia del polo Sur.

Por toda esta región es tan notable su brillo, sobre todo si se compara con la parte que se extiende por el hemisferio boreal, que ya hemos descrito, que nos produce la impresión de su mayor proximidad. Cerca de alfa del Centauro se divide de nuevo en dos ramas principales, con numerosas ramificaciones, y

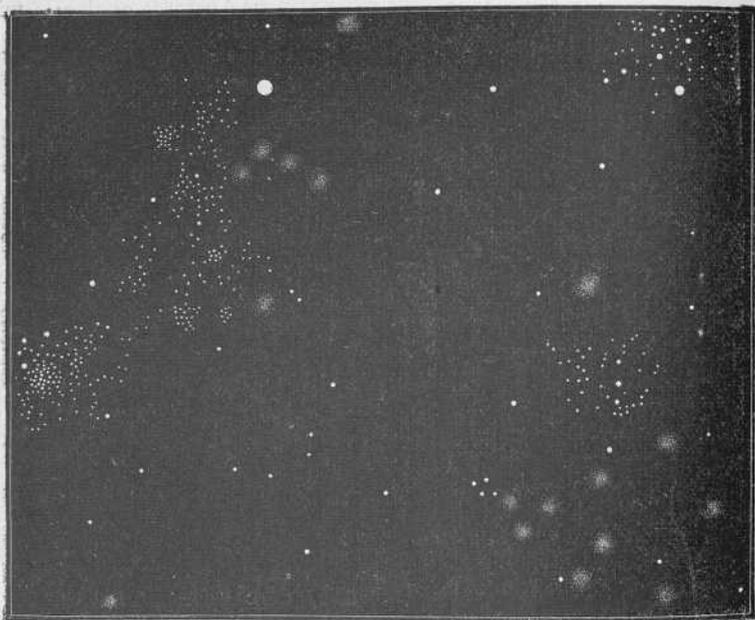


Fig. 122. — Las Nubes de Magallanes. Estructura de una región de la *Nubecula mayor*, según Herschel

continúa la bifurcación en el Lobo, el Altar, el Escorpión, el Sagitario hasta la Serpiente. Entonces ambas ramas atraviesan nuevamente el ecuador y ganan la parte boreal de la Vía láctea, en el mismo punto en que comenzamos nuestra descripción, que es la de Herschel.

Es imposible dar una idea del enorme número de estrellas que componen la Vía láctea, pero Herschel va á suministrarnos algunos datos muy útiles para nuestro objeto. Dice este ilustre observador que en una ocasión estimó que pasaban por el campo de su telescopio, en un cuarto de hora, 116.000 estrellas, y que el 22 de agosto de 1792 vió pasar 258.000 estrellas en 41 minutos. El sorprendente carácter de este resultado puede apreciarse mejor comparándolo con el número de estrellas visibles á la simple vista, que se estima en menos de 6.000 para las personas dotadas de buen aparato visual. Supone Herschel

Casiopea

Persco

El Cochero

Toro

Orión

San mayor

Ofiuco

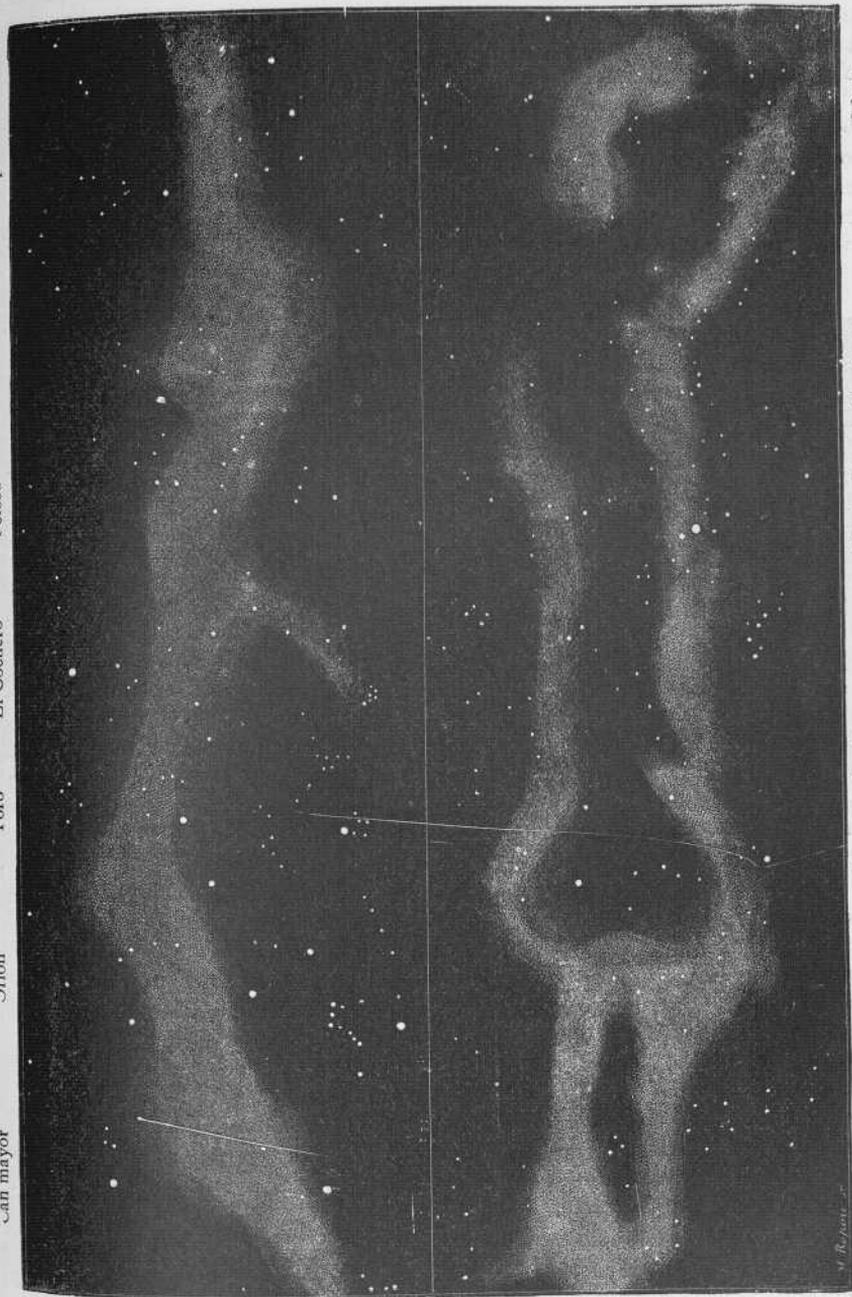
El Aguila La Serpiente

La Lira

El Cisne

Céfeo

VIA LACTEA BOREAL



Alfonso Ferraz

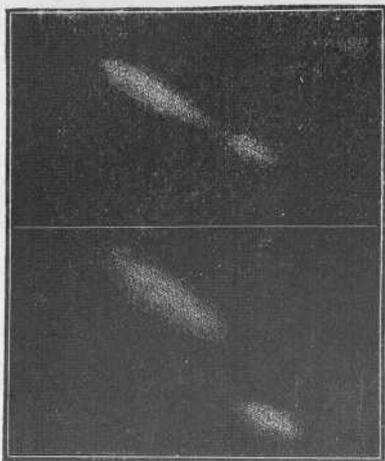
que el número total de estrellas visibles en un telescopio de 45 centímetros de diámetro, no es inferior á $5\frac{1}{4}$ millones, y Struve estima que aumentando hasta 50 centímetros la abertura del instrumento se perciben 20 millones y medio.

Llamaban los griegos á la Vía láctea *Galaxios* y los latinos *Circulus lacteus* ú *Orbis lacteus*, nombres que acomodaban á la teoría de que eran partidarios; Metrodoro decía que la Vía láctea era el primitivo camino del Sol, que lo abandonó después del sangriento banquete de Tiestes; otros, que marcaba el lugar de la desgracia de Faetón, no faltando quien asegurase que se componía de los granos de trigo que derramó Isis cuando huyó de Titán.

Aristóteles suponía que las exhalaciones gaseosas de la Tierra se inflamaban en el cielo y daban lugar á la formación del fenómeno; para Teofrasto era la Vía láctea sencillamente la soldadura de los dos hemisferios, y por último, Diodoro afirmaba que era un fuego celeste, denso, que aparecía entre los intersticios de los dos semiglobos. Demócrito y Pitágoras se acercaron á la verdad, tanto como los astrónomos modernos, pues para aquellos filósofos era la Vía láctea un conglomerado de estrellas.

Es una de las particularidades más notables de la distribución de las nébulas su mayor abundancia donde el número de estrellas es menor. Así como las estrellas aparecen más numerosas á medida que nos aproximamos á la Vía láctea, por el contrario, disminuye el número de nebulosas en las inmediaciones de esta región.

Fig. 123. - Movimiento probable de una nébula binaria. - 1. Observación de Herschel. - 2. Idem de Hunter.



Observó el ilustre Herschel que la tercera parte de las nébulas del cielo se encuentran reunidas y agrupadas en una zona ancha é irregular, que ocupa como una octava parte de la superficie total de la esfera celeste, la cual se extiende desde la Osa mayor por su parte boreal, hasta la constelación de la Virgen por su parte Sur. Empero, si consideramos, no las verdaderas nébulas, sino los cúmulos estelares, hallamos la misma tendencia á la condensación en la Vía láctea que se nota en las estrellas. La ley en cuestión puede comprenderse con más facilidad por el lector no matemático suponiendo la esfera celeste de tal modo colocada, que la Vía láctea coincida con el horizonte; en este caso las estrellas y los cúmulos estelares escasearán en el cenit, siendo más numerosos á medida que descendemos y nos aproximamos al horizonte, ocurriendo lo propio en el otro hemisferio invisible.

Pero las nébulas verdaderas, por el contrario, se hallarán en corto número en el horizonte, aumentando según que nos acercamos al cenit, ó si penetramos en el otro hemisferio, á medida que nos aproximemos al nadir.

Las posiciones de las nébulas y cúmulos estelares del catálogo de Herschel

Serriente

Ofrico

Altar

Escorpión

Lobo

Centauro



Cruz del Sur

Navío ó Argos

Perro mayor

Unicornio

VIA LACTEA AUSTRAL

han sido estudiadas por el astrónomo Cleveland Abbe, con referencia á sus distancias á la Vía láctea, y los siguientes números indican parte de los resultados que obtuvo.

Imaginemos una faja de 30 grados de ancho que se extienda por todo el cielo, y que coincida con el círculo máximo que pasa por la Vía láctea. Esta faja abarcará próximamente la cuarta parte de la superficie de la bóveda celeste, y si las estrellas y nébulas se hallasen distribuídas con uniformidad, debiera contener



Fig. 124. — Región nebulosa de la Virgen, según Proctor.

esta zona una cuarta parte también, y sin embargo, sólo comprende los nueve décimos de los cúmulos estelares y un décimo de las nébulas.

El astrónomo inglés Proctor, que ha hecho un estudio detenido de la estructura y disposición de las estrellas y nebulosas, hace notar, con razón, que las innumerables estrellas diseminadas en los mismos espacios celestes, forman como rastros ó estelas de puntos luminosos, y que las nébulas parecen asociadas á esta disposición, debido á una causa real y no á un efecto de perspectiva.

La escasez de nébulas en las inmediaciones de la Vía láctea se pretende explicar de varios modos. Dicen unos que en esta zona se encuentran las nébulas y cúmulos más dispersados y con menor condensación que en otras partes, ó bien que el Universo visible tiene menos profundidad en esta dirección que en el sentido perpendicular al plano galáctico. Para otros la pobreza nebulosa de

esta zona indicaría que en esta dirección distan más las nébulas que en las demás regiones, y que sólo deben su invisibilidad á su extremada distancia.

M. Abbe es partidario de la segunda hipótesis que hemos indicado, y cree que el plano galáctico corta en ángulo recto al eje mayor de un elipsoide prolongado cuyos polos serían los de la Vía láctea; en su interior se encontrarían repartidas uniformemente las 4.134 nébulas conocidas, abstracción hecha de las dos Nubes de Magallanes, que considera como nébulas que casualmente se hallan más cerca de nosotros que las demás.

Durante mucho tiempo se ha admitido que las nebulosas estaban situadas en los confines del universo visible, y los astrónomos aceptaban la grandiosa

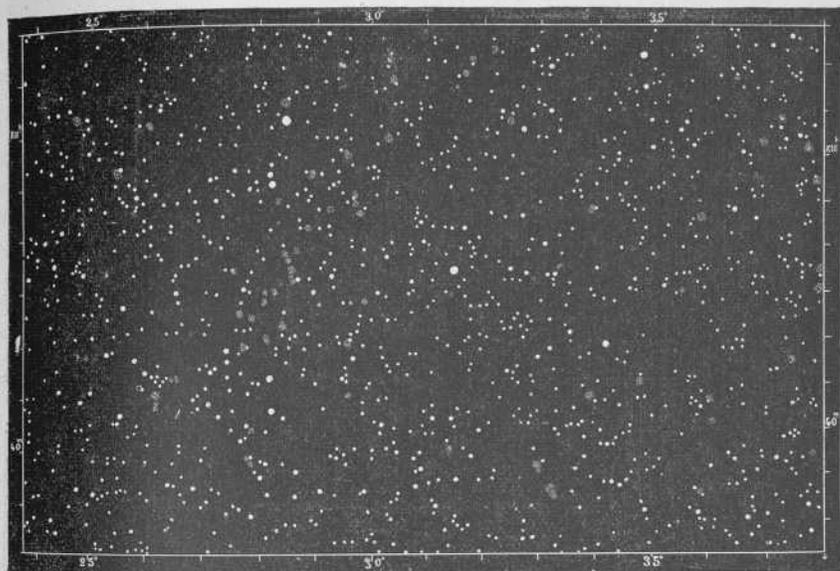


Fig. 125 - Región nebulosa de la Cabellera de Berenice, según Proctor

concepción de W. Herschel, según la cual distaban mucho más de las estrellas brillantes que éstas del Sol. Pero los trabajos recientes de observación visual y fotográfica, y las revelaciones del espectroscopio, tienden á demostrar que no existe una división tan marcada entre las distancias de estas dos clases de cuerpos celestes; el astrónomo americano Newcomb estima que las series de estrellas cada vez más débiles que la perfección de los telescopios nos permite columbrar, no alejan de un modo progresivo los límites de la inmensidad de los cielos, y en cierto modo llegamos á ver dónde se acaba nuestro mundo.

Como en lugar oportuno dejamos indicado, desde hacía varios años se trabajaba en el Observatorio de París en la ejecución de una carta eclíptica del cielo, empezada por Chacornac en 1852 y continuada por los Sres. Henry. En estas cartas se representaban todas las estrellas hasta la 13.^a magnitud, y era el objeto principal de su construcción facilitar el descubrimiento de asteroides;

cada carta representa un cuadrado en la bóveda del cielo de 5° , necesitándose 72 de ellas para figurar toda la zona eclíptica. Chacornac llegó á concluir 36 hojas, que contenían 60.000 estrellas, y los hermanos Henry 20, con 51.000 estrellas. El trabajo se proseguía con perseverancia, pero avanzaba lentamente. Así se llegó en 1884 á la región por donde pasa la Vía láctea, y en cada hoja había que registrar la posición de 15.000 á 18.000 estrellas. Con una condensación de astros semejante resultan poco menos que inaplicables los procedimientos ordinarios, que exigen mucho tiempo, cuestan mucho dinero y no son tan exactos y escrupulosos como para que no se escape, sin ser registrado, algún astro.



Fig. 126. — Fotografía directa de una región del cielo, por Henry, de París

Recurrieron por este motivo á la fotografía, que ya se había aplicado, como hemos visto en las páginas anteriores, á los usos astronómicos, pero no á la substitución de los mapas estelares, y la primera tentativa hecha con un aparato provisional de 16 centímetros de abertura dió tan buen resultado, que en una imagen algo más pequeña que un decímetro cuadrado se registraron más de 1.500 estrellas en un espacio de 3° en ascensión recta y 2° de declinación, comprendidas entre la 6^{a} y la 12^{a} magnitud, esto es, hasta los límites de visibilidad de un anteojo de las dimensiones indicadas. En general, las imágenes de las estrellas eran proporcionales á su brillo, pues el objetivo del instrumento se corrigió para los rayos químicos de la luz; sólo las estrellas rojas impresionaban más débilmente la placa.

En vista de resultado tan satisfactorio, que hacía entrever la posibilidad de vencer la dificultad, al parecer insuperable, que ofrecía el registrar individual

mente todas las estrellas de las regiones que aún faltaban por catalogar, decidió M. Mouchez, en aquel entonces Director del Observatorio, que se construyese un aparato especial para el fin á que se destinaba, encargando los objetivos á los Sres. Henry, que tan relevantes muestras acababan de dar de su habilidad como ópticos y astrónomos, y la armadura al famoso artista mecánico Gautier.

El nuevo instrumento se componía de dos anteojos pareados, casi del todo iguales, en cuanto lo permite el distinto uso á que se destinan (fig. 127). Uno de ellos, de 24 centímetros de abertura, sirve de guía ó puntero por medio de la observación visual, y el otro, de 34 centímetros, está acromatizado para los rayos químicos, y es el destinado al uso fotográfico; como los ejes ópticos de los dos anteojos son paralelos, cuando un astro se encuentra en el centro del campo del visual ó puntero, estará también en el del antejo fotográfico. La rapidez de este objetivo es tal, que permite en el curso de dos minutos obtener una carta de estrellas de la 12.^a magnitud; en cinco minutos, de la 13.^a y 14.^a, obra que exigiría, por el antiguo sistema, muchos meses de asiduo trabajo. Pero como hay también que fotografiar objetos cuya impresión en la placa exige exposiciones más prolongadas, es necesario que la ecuatorial posea una gran estabilidad, y por eso se ha adoptado la montura á la inglesa, ó sea con dos puntos de apoyo en el pie y en la cabeza del eje polar; lleva los círculos horarios y de declinación en posiciones convenientes y cómodas para las lecturas, y la máquina de reloj que pone en movimiento el aparato puede marchar durante tres horas.

Prosiguiéronse, pues, en el Observatorio de París los trabajos de fotografía estelar de la zona eclíptica con éxito siempre creciente, y en vista de ello concibió M. Mouchez la grandiosa idea de fotografiar, no sólo las estrellas de la zona mencionada, sino todas las de la bóveda celeste, esto es, hasta determinada magnitud. Obra tan colosal no podía llevarla á cabo un establecimiento único, no por el inmenso trabajo que representa, sino porque desde una estación sólo son visibles regiones muy limitadas del cielo en buenas condiciones

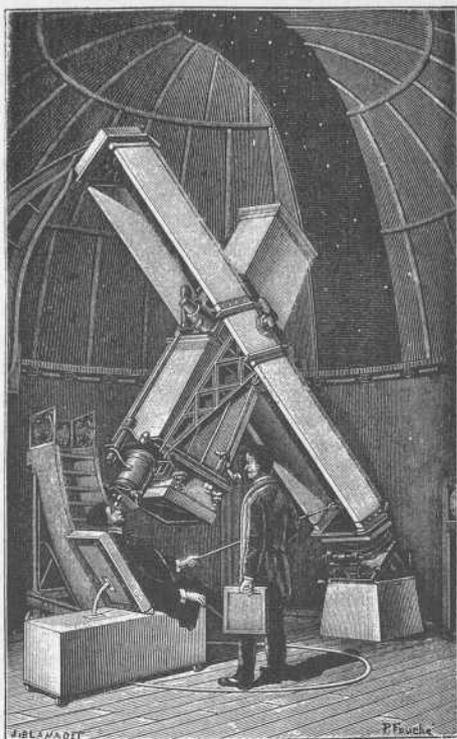


Fig. 127. — Ecuatorial fotográfica del Observatorio de París

(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia)

de elevación sobre el horizonte. Púsose Mouchez en relaciones con todos los astrónomos del mundo con objeto de hallar los indispensables colaboradores de su plan, y encontró, salvo excepciones insignificantes, la acogida más entusiasta. Pero el entusiasmo y la simpatía de los astrónomos no bastaba para llevar la obra á buen término, sino que se necesitaba adquirir un material relativamente costoso, y no todos los gobiernos querían hacer gastos que no parecían por completo justificados desde el estrecho punto de vista de la utilidad inmediata.

Celebráronse varios congresos en París, en los que se discutieron todos los problemas que ofrecía la empresa, y al cabo se llegó á una inteligencia común en cuanto á la marcha que habían de llevar los trabajos. Diez y ocho Observatorios de ambos hemisferios se concertaron para la exploración del espacio celeste, empleando aparatos iguales y unos mismos procedimientos fotográficos; el cielo se dividió en secciones y á cada establecimiento se le confió la reproducción de una de ellas. España, gracias á la iniciativa enérgica del Sr. Pujazón, director que era en aquella época del Observatorio de San Fernando, tomó parte en el universal concurso.

Después de muchas discusiones, cuyo relato no puede leerse sin sentir admiración por el talento desplegado por tantos hombres ilustres, se acordó que los estudios que habían de efectuarse fuesen dos y de distinta naturaleza, á saber:

1.º Levantar una carta por medio de clisés de larga exposición, con objeto de obtener una representación fiel del estado actual del cielo, que abarque todos los astros hasta la 14.^a magnitud, cuyo número se estima en 30 millones.

2.º Ejecutar una serie de fotograffas de exposición más corta, que reproduzcan las imágenes estelares hasta la 11.^a magnitud, sirviendo esta segunda investigación para construir un catálogo que comprenderá las coordenadas exactas de cerca de 3 millones de estrellas.

Estas dos series de trabajos se prosiguen con gran actividad en todos los Observatorios asociados, y en el congreso celebrado en París en 1900 con motivo de la Exposición, y al que concurrieron astrónomos de todos los países, se acordó que, además de los trabajos relativos á la monumental empresa acometida y en curso de ejecución desde hace diez años, se emprendiese una nueva investigación del problema fundamental de la Astronomía, es á saber, el de la determinación de la distancia media de la Tierra al Sol, expresada en función del diámetro del globo terrestre, ó sea la determinación de la paralaje solar, base de todas las evaluaciones de las distancias celestes. Este resultado se piensa conseguir determinando por medio de la fotografía la paralaje del planeta Eros, que, como dijimos en su lugar, se aproxima á la Tierra más que ningún otro cuerpo celeste, excepción hecha, por supuesto, de la Luna, aunque á intervalos muy largos; y conocida la distancia del asteroide á nuestro globo, la cual puede obtenerse con precisión extraordinaria en el invierno de 1900 á 1901, es en extremo fácil, en virtud de las leyes de la mecánica celeste, deducir las distancias mutuas de todos los demás astros que constituyen el sistema solar.

Para concluir, diremos que al Observatorio de San Fernando le correspondía fotografiar la zona del cielo comprendida entre los paralelos de 3' á 9' del hemisferio austral, lo que exigía impresionar 1.260 clisés, y que hace ya tiempo el trabajo está concluído con el éxito más satisfactorio.

LIBRO QUINTO

FENÓMENOS FÍSICO-ASTRONÓMICOS

CAPITULO PRIMERO

LAS MAREAS

Los pueblos marítimos, desde la más remota antigüedad, tuvieron algún conocimiento de la relación que existe entre los movimientos de las aguas del mar en las costas y el curso diurno de la Luna; el enlace evidente de las fases de nuestro satélite con la altura ó depresión de las aguas era conocido mucho antes de descubrirse la verdadera teoría del fenómeno. Aristóteles y Pytheas de Marsella algo dicen de este asunto, y Julio César habla de la acción de la Luna como de cosa corriente y sabida en sus famosos *Comentarios*, al referir el paso del Canal de la Mancha. Para Plinio el fenómeno se debe al Sol y á la Luna; *verum causa in sole lunaque*. Keplero indica claramente que la fuerza de gravitación es la que produce la elevación y el descenso de las aguas del mar, concepto rechazado por Galileo; pero al inmortal Newton estaba reservada la gloria de descubrir la verdadera teoría de este notable fenómeno y de demostrar con toda evidencia la causa que lo produce.

Son las mareas un asunto en cuya comprensión hallan muchas personas una dificultad extraña. Que la Luna con su atracción acumule las aguas del Océano que tiene debajo, parece á muchos muy natural; pero que la misma causa pueda al propio tiempo aglomerarlas en el hemisferio opuesto, parece á los más un absurdo palpable. Y sin embargo, nada es más cierto, ni aun más evidente, cuando consideramos que la elevación de las aguas no es producida por la atracción *total* de aquel astro, sino por la diferencia de atracciones que ejerce sobre las dos superficies del globo y sobre su centro; es decir, por fuerzas cuya dirección es precisamente la indicada por la flecha en la fig. 128, en la cual se representa la Luna y la Tierra y la forma del elipsoide líquido.

Una gota de agua suspendida en el aire tomaría una forma esférica á causa de la atracción mutua de sus partes; y si esta misma gota se dejase caer libremente en el vacío, sometida al influjo de una gravedad constante, como todas y cada una de sus partes experimentarían la misma aceleración, conservarían las partículas sus posiciones relativas y no se alteraría en consecuencia la figura esférica.

Mas si suponemos que descienda bajo el influjo de una atracción, que actúe sobre cada una de sus partículas independientemente, y que aumente de intensidad á cada grado de descenso, ya en tal caso las partes más inmediatas al centro de atracción serían atraídas con mayor fuerza que las centrales, y éstas, á su vez, con mayor fuerza que las más remotas; y el conjunto se alargaría en la dirección del movimiento, tomando una forma oblonga, resultado del equilibrio que llegaría á establecerse entre la tendencia á la separación y la atracción de las partículas, unas para con otras.

Ahora bien; la Tierra está de hecho cayendo constantemente hacia la Luna, pues que de continuo se ve separada de su curso por este astro en virtud de una fuerza que obra con más energía que en el centro en las partes más inmediatas, y con menos en las más remotas; y de este modo la atracción de la Luna

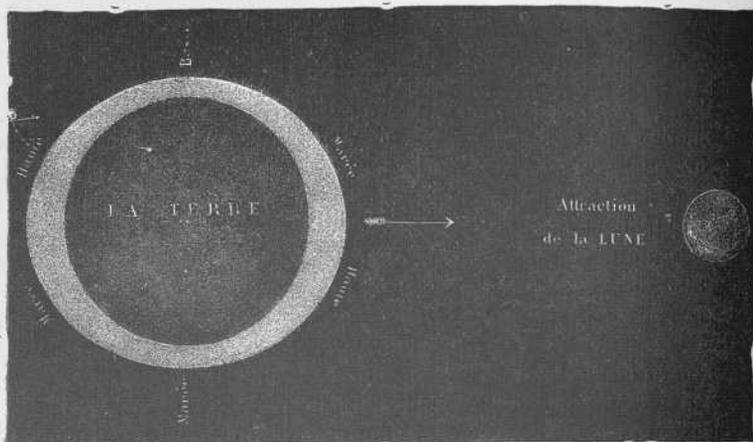
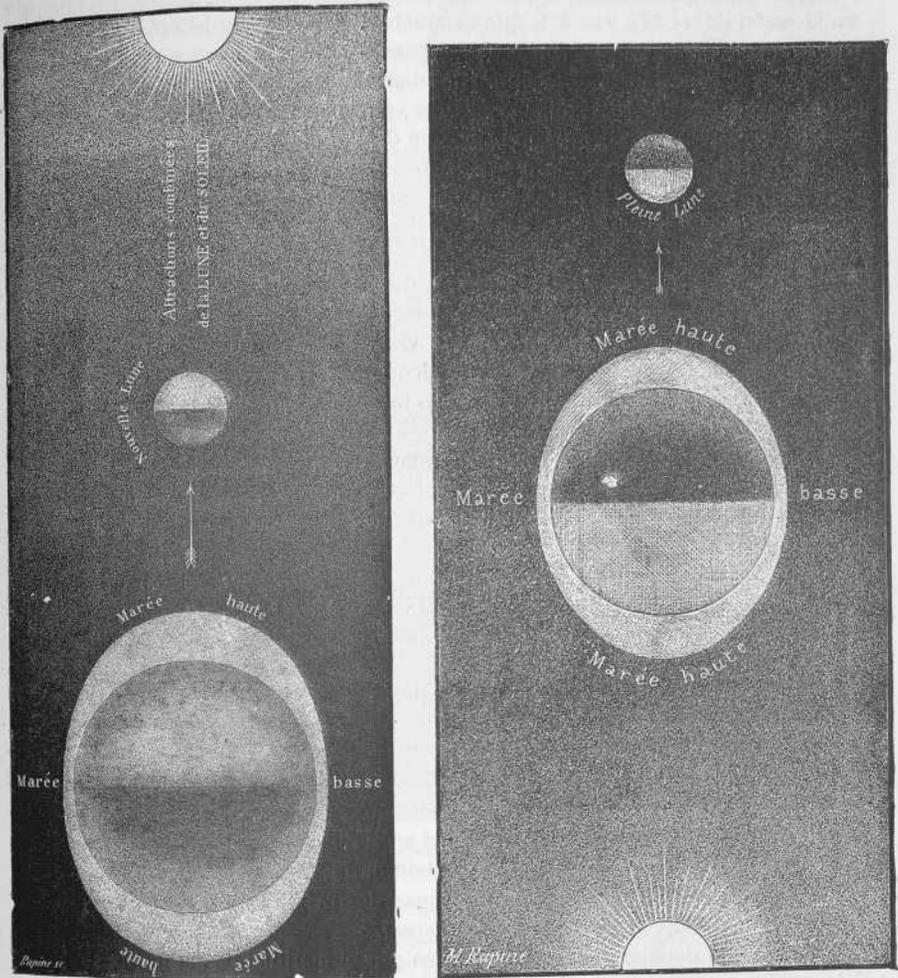


Fig. 128. — Atracción de la Luna sobre las aguas. Marea lunar

actúa comprimiendo, digámoslo así, las aguas en los extremos del diámetro terrestre perpendicular á su dirección, y elevándolas en los extremos del diámetro que se dirige á dicho astro. La geometría corrobora este modo de considerar la materia, demostrando que la forma de equilibrio que tomaría una capa de agua que envolviese á una esfera, bajo el influjo de la atracción lunar, sería la de un elipsoide oblongo, cuyo semi eje dirigido hacia la Luna tendría cosa de 162 centésimas más de largo que el transversal.

Nunca hay tiempo, sin embargo, para que llegue á formarse completamente tal esferoide. Antes que las aguas puedan tomar el nivel correspondiente, habrá la Luna caminado en su órbita, así diurna como mensual (porque en esta teoría vendrá muy á cuenta para la claridad el suponer trasladado el movimiento diurno de la Tierra al Sol y á la Luna en dirección contraria); habrá el vértice del esferoide variado de posición en la superficie de la Tierra, y tendrá el Océano que buscar nuevo asiento, originándose de aquí una ola de inmensa anchura y excesivamente tendida ó aplanada (no una corriente alrededor del globo), que sigue, ó procura seguir, los movimientos aparentes de la Luna, y que debe

en realidad, si es cierto el principio de las vibraciones derivadas, imitar en períodos iguales todas las desigualdades periódicas de aquel movimiento.
 Cuando llegan á nuestras costas las partes más elevadas ó las más bajas de



Figs. 129 y 130. - Mareas vivas. - Atracciones combinadas de la Luna y el Sol

esta ola, advertimos ese aumento y disminución en la altura de las aguas, que llamamos *pleamar* ó *bajamar*.

Asimismo produce el Sol otra ola semejante, cuyo vértice procura seguir el movimiento aparente de este astro en el cielo, é imitar también sus desigualdades periódicas. Esta ola solar coexiste con la lunar, y se le sobrepone algunas veces, en tanto que otras la cruza y la atraviesa de modo que la neutraliza en parte: todo según la configuración mensual sinódica de los dos luminares

Pero el influjo del Sol es mucho más débil que el de la Luna, á causa de su considerable distancia de la Tierra. La distancia media del Sol á nuestro globo es 382.846 veces mayor que la de la Luna, y su fuerza de atracción, por lo tanto, 146.571 veces menor; pero como la masa del Sol supera á la de nuestro satélite en la razón de 25.885.220 á 1, que es mucho mayor que la de 146.571 á 1, pudiera creerse que la atracción del Sol superase á la de la Luna en el mismo exceso que presenta la primera cantidad sobre la segunda.

No es esto lo que ocurre, sin embargo, por la razón siguiente.

Hay que considerar que las mareas se deben únicamente á la desigualdad de la atracción que obra en diversos lados de la Tierra, y que mientras mayor sea la desigualdad, mayor será la marea resultante y viceversa. La distancia media del Sol á la Tierra es igual á 11.536 diámetros terrestres; y en consecuencia, la diferencia entre su distancia desde un lado de la Tierra y desde el opuesto será tan sólo $\frac{1}{11836}$ de la distancia total; mientras que tratándose de la Luna, cuya distancia media es de 30 diámetros terrestres, la diferencia entre las distancias de un lado del globo y del opuesto, viene á ser desde el satélite $\frac{1}{30}$ de la distancia total. La desigualdad de la atracción, de la que depende la altura de la ola de marea, es, por lo tanto, mucho mayor tratándose de la Luna que del Sol, en la razón de $2\frac{1}{2}$ á 1.

Vemos, pues, que hay dos clases de mareas, lunar y solar. Cuando el Sol, la Luna y la Tierra se encuentran en la prolongación de una línea recta, es decir, cuando hay Luna nueva ó llena, se suman ó sobreponen ambas olas y tienen lugar las mareas que llamamos *vivas*.

Pero cuando la Luna se encuentra en cuadratura ó á 90 grados del Sol, su atracción obra en sentido perpendicular á la que el Sol ejerce, y las dos elevaciones se hallan separadas 90 grados también; entonces tenemos las mareas *mueratas*.

Presentaremos aquí algunos datos relativos á las mareas, que pueden ser de utilidad al lector.

(a) El día del novilunio pasan el Sol y la Luna al mismo tiempo por el meridiano, esto es, á mediodía, y poco después de este paso tiene lugar la marea alta ó pleamar. Después de alcanzar el agua su altura máxima, comienza á bajar, y tras un período de $6^h 12^m$ llega á su depresión máxima; vuelve á subir durante $6^h 12^m$ y obtiene un segundo máximo; desciende de nuevo y sube otra vez en dos períodos iguales, teniendo lugar dos máximas y dos mínimas en el intervalo de $24^h 48^m$, que se llama *día marea*.

(b) El día del plenilunio pasa la Luna por el meridiano 12^h después que el Sol, esto es, á media noche, y los fenómenos son iguales á los descritos en (a).

(c) Como el tiempo se cuenta por el movimiento aparente del Sol, la marea solar se verifica siempre á la misma hora para un lugar determinado; pero la marea lunar, que es la más importante, ocurre cada día $48^m 44^s$ más tarde; se retarda, por lo tanto, hacia el Este de la marea solar en igual proporción, hasta que en los períodos que corresponden al primer y tercer cuarto de la Luna tienen lugar al mismo tiempo que la bajamar solar; en este caso la altura de la pleamar y la depresión de la bajamar serán la diferencia de las mareas solar y lunar, y las mareas serán muertas.

- (d) La diferencia entre la pleamar y la bajamar se llama unidad de altura.
 (e) Las mayores mareas vivas ocurren 36 horas después del novilunio ó del plenilunio.
 (f) Las más bajas mareas muertas ocurren 36 horas después de hallarse la Luna en cuadratura.
 (g) El intervalo de tiempo que transcurre desde el mediodía hasta el momento de la pleamar en un lugar determinado, es igual en el novilunio y el plenilunio y se llama *establecimiento del puerto*.

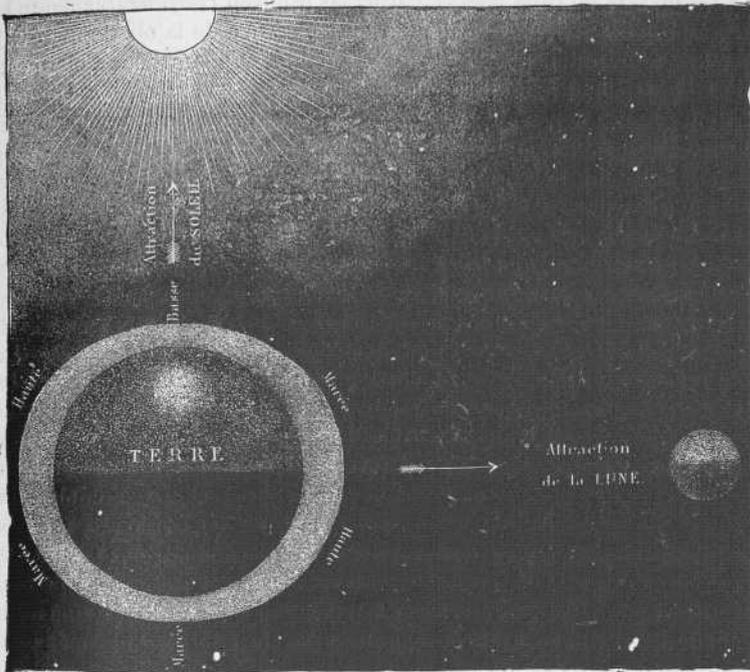


Fig. 131. - Mareas muertas. Acciones contrarias del Sol y de la Luna

Sin la inercia de las aguas y los retardos que provienen, ya del rozamiento en el lecho del Océano, ora de la angostura de los canales por donde tiene que pasar la ola antes de llegar al puerto, ya de su varia extensión, etc., etc., los dos antedichos momentos, que tan diversos aparecen, se confundirían en uno solo. Mas todas estas causas conspiran á que resulten diferentes, y su variada combinación hace que esta diferencia esté muy lejos de ser una misma en todos los puertos.

La observación del establecimiento de los puertos es punto de gran importancia marítima, y no es de menor consecuencia, teóricamente hablando, para llegar al conocimiento de la verdadera distribución de las aguas por todo el globo en el fenómeno de las mareas. Al hacer estas observaciones, se debe cuidar de no confundir el momento de las aguas paradas, que es cuando la corriente

causada por el flujo ó reflujó deja de afluir visiblemente hacia uno ú otro lado, con el de la pleamar ó bajamar, cuando el nivel de la superficie deja de subir ó de descender. Estos fenómenos son totalmente distintos y dependientes de causas muy diversas, si bien es cierto que pueden coincidir algunas veces en punto á tiempo; y hay motivo para recelar que se toman uno por otro con demasiada frecuencia en la práctica, circunstancia que dondequiera que ocurre debe producir la mayor confusión en cualquiera tentativa cuyo objeto sea reducir el sistema de las mareas á leyes distintas é inteligibles.

En las mareas de cada puerto particular influyen considerablemente las declinaciones del Sol y de la Luna. Pues que el vértice de la ola de marea tiende á situarse en dirección vertical debajo del lumínar que la produce, claro está que cuando varíe la incidencia de esta vertical sobre la superficie, procurará la ola variar de un modo consiguiente, y por lo mismo, tenderán á aumentar y disminuir alternativamente, según períodos mensuales y años, las mareas principales. Así viene á introducirse en la materia el período de los nodos de la Luna, en razón de que en una parte de dicho período pueden las declinaciones de este astro extenderse hasta 29 grados hacia un lado del ecuador, y en la parte opuesta á sólo 17° hacia el mismo lado.

Hasta aquí hemos considerado la ola de marea como si la Tierra fuese una esfera perfecta cubierta de agua, de una profundidad uniforme; pero como esto dista mucho de ser así, se deduce que el fenómeno de las mareas presenta un carácter mucho más complejo, debido al contorno irregular de las tierras, á la superficie desigual del lecho del Océano, á la acción de los vientos, á las corrientes, etc., etc. Los efectos de estas influencias perturbadoras se manifiestan de un modo particular en la diferencia de la altura de la marea en diversos puntos del globo. Si la superficie terrestre se hallara cubierta de agua por completo, la altura de la marea solar sería de 59 centímetros y la de la marea lunar de 122 centímetros; pero las diferencias de nivel producidas en las aguas del Océano exceden en mucho de estas cantidades; por ejemplo, en canales estrechos, abiertos en el sentido de la ola de marea, se elevan las aguas repentinamente á una altura extraordinaria. Así tenemos que la diferencia de nivel entre la pleamar y la bajamar es como sigue en algunos puertos:

Canal de Bristol	21,33 metros
Río Gallegos (Patagonia)	18,28 »
Saint Maló	12,16 »
Ferrol	3,00 »
Cádiz	4,76 »
Gibraltar.	1,12 »

En espacios grandes y abiertos como el Océano Atlántico y el Pacífico, y en mares estrechos y cerrados como el Báltico y el Mediterráneo, es muy pequeña la elevación de la ola de marea. Así en Tolón llega tan sólo á 30 centímetros, en San Juan de Puerto Rico á 46 cm., en el Océano Pacífico austral á 50 cm. y en la isla de Santa Elena á 92 cm.

CAPITULO II

ECLIPSES Y OCULTACIONES

Teoría general de los eclipses. — Eclipses de Sol. — Eclipses de Luna. — Ocultaciones. — Eclipses de los satélites de Júpiter

Los fenómenos de que ahora vamos á ocuparnos resultan de la interposición de algún cuerpo celeste entre la Tierra y otro astro. Sabemos que, debido al movimiento de que se encuentran animados todos los cuerpos del cielo, la dirección de las líneas que pueden imaginarse trazadas de unos á otros varía de tiempo en tiempo, y á veces ha de ocurrir que tres de ellos se encuentren en línea recta.

Cuando uno de los cuerpos extremos de esta serie de tres es el Sol, el cuerpo intermedio priva al que se encuentra en el otro extremo, ya total, ora parcialmente, de la luz que de ordinario recibe. Cuando uno de los cuerpos extremos es la Tierra, el cuerpo intermedio intercepta, total ó parcialmente, al otro cuerpo extremo de la vista de los observadores situados en diversos puntos de nuestro globo que se encuentren en la línea común de dirección, y el cuerpo intermedio se ve pasar sobre el otro extremo cuando entra ó se separa de la línea común de dirección. Los fenómenos que resultan de estas contingencias de posición y dirección se llaman *Eclipses*, *Pasos* y *Ocultaciones*, según las magnitudes relativas y aparentes de los cuerpos interpuestos y obscurecidos, y según las circunstancias en que se verifican.

Principiaremos nuestro estudio por los eclipses.

Debemos ante todo recordar que la órbita de la Luna no coincide exactamente con el plano de la órbita terrestre, sino que ambos planos forman entre sí un ángulo que varía entre $4^{\circ} 57'$ y $5^{\circ} 20'$, de modo que por término medio podemos tomar $5^{\circ} 9'$ como valor angular. Los dos puntos en donde en su curso corta á la eclíptica se llaman nodos, y la línea imaginaria que los une, línea de los nodos; cuando la Luna cruza la eclíptica de Sur á Norte, pasa por su nodo ascendente, y el punto opuesto es el nodo descendente; si ocurre que la Luna pase por uno de sus nodos en la época de la conjunción ó novilunio, ó muy cerca de ella, necesariamente se interpondrá entre la Tierra y el Sol (fig. 133) y los tres cuerpos se encontrarán en una misma línea recta; de donde se deduce que en algunos puntos de la Tierra se verá obscurecido el disco del Sol, total ó parcialmente, según el caso. Sería eclipse total de Sol si la Luna cubriese toda la superficie aparente del lumínar del día; parcial, si sólo ocultara una parte, y anular cuando el disco de nuestro satélite no tapa al Sol por completo y se distingue un anillo luminoso alrededor del cuerpo obscuro de la Luna.

Siendo la Tierra y la Luna cuerpos opacos, han de proyectar sus sombras en el espacio, y debido al mayor tamaño de nuestro planeta, tiene que ser su sombra más grande que la de nuestro satélite. Si ocurre que la Luna pase por uno de sus nodos en la época del plenilunio ú oposición, ó muy cerca de esta fecha, tendremos, como antes, que los tres cuerpos se encontrarán en línea recta, pero la Luna se hallará envuelta en el cono de sombra de la Tierra, y por lo tanto, privada de la luz del Sol; luego habrá un eclipse de Luna (fig. 133).

Si las órbitas de la Tierra y de la Luna estuvieran en el mismo plano, tendrían lugar un eclipse en cada oposición y en cada conjunción, ó 25 veces todos los años; pero, como sabemos, esto dista mucho de ser así. Según las investigaciones más recientes, para que pueda verificarse un eclipse de Sol, la mayor distancia de este luminar, ó de la Luna, del lugar verdadero de los nodos de la órbita

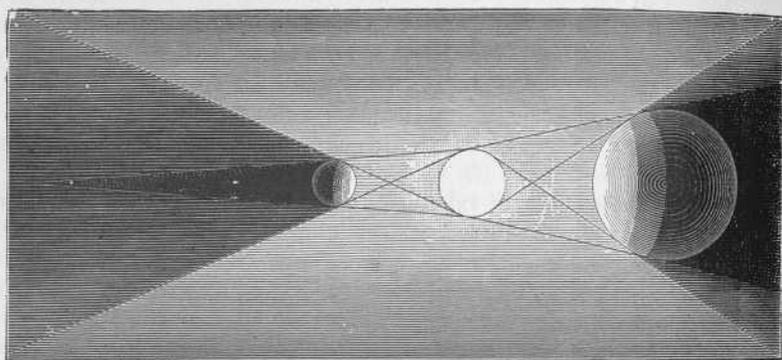


Fig. 132. — Teoría general de los eclipses

lunar, no puede exceder de $18^{\circ} 36'$, ni la latitud de la Luna ó distancia á la eclíptica de $1^{\circ} 34' 52''$.

Vimos que los nodos de la órbita de la Luna no eran fijos, sino que tenían un movimiento diario retrógrado de $3' 11''$ ó anuo de $19^{\circ} 20' 20''$, de modo que efectúan una revolución completa en torno de la eclíptica en $18^{\text{a}} 218^{\text{d}} 21^{\text{h}} 22^{\text{m}} 46^{\text{s}}$.

El período sinódico de la Luna, ó tiempo que invierte en pasar de una conjunción ú oposición á la siguiente, es de $29^{\text{d}} 12^{\text{h}} 44^{\text{m}} 2_{\text{s}},87$; 223 períodos de éstos importan $6.585_{\text{s}},32$, que son $18^{\text{a}} 10^{\text{d}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}}$; pero 19 revoluciones del Sol respecto del nodo lunar se efectúan en $6.585_{\text{s}},77$, resultando de la coincidencia de ambos períodos que los eclipses ocurren casi en el mismo orden regular, después que pasan 19 revoluciones sinódicas de los nodos de la Luna. La diferencia entre ambos períodos es de $0_{\text{s}},451$ ó $10^{\text{h}} 49^{\text{m}} 36^{\text{s}}$; en este tiempo describe el Sol un arco de $28' 6''$ respecto del nodo lunar.

El conocimiento de este hecho, probablemente, permitió á los antiguos astrónomos predecir las fechas de los grandes eclipses, pues se sabe de cierto que en más de una ocasión los anunciaron antes de que se conociera su verdadera naturaleza.

Este es el ciclo ó período de Saros de los caldeos.

Diógenes Laercio habla de 373 eclipses de Sol y 832 de Luna observados

por los egipcios, y aunque sus testimonios, por lo general, son de escaso valor, sin embargo, es muy de notar que ésta es justamente la proporción en que pue-

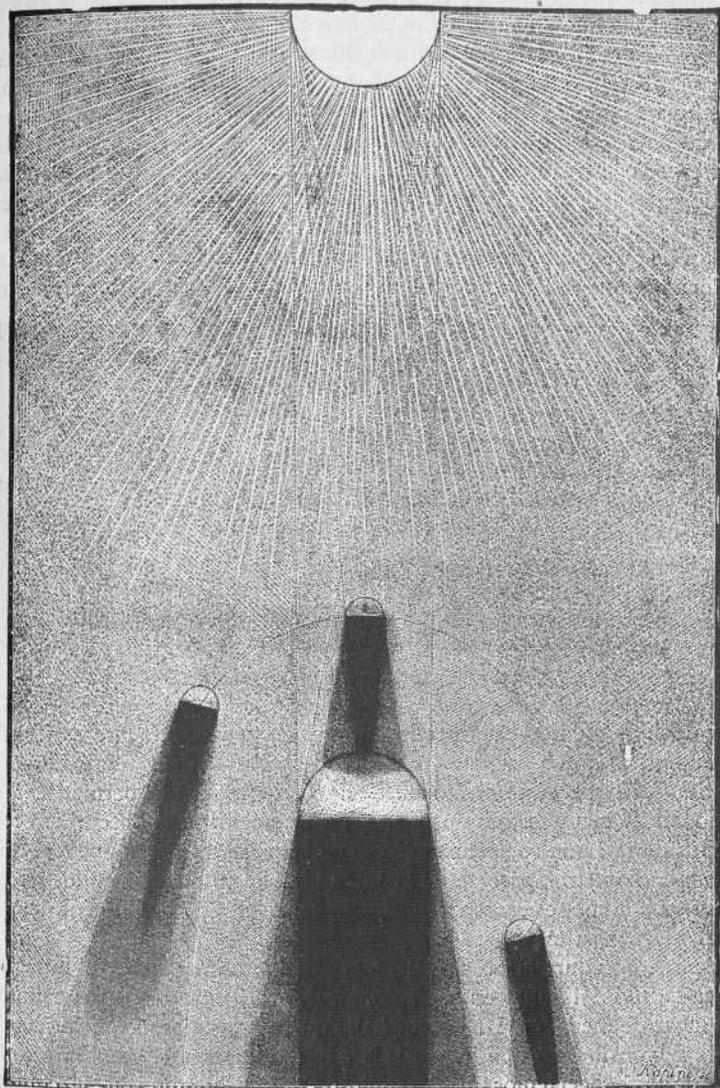


Fig. 133. - Teoría de los eclipses de Sol y de Luna

den ocurrir los eclipses en un horizonte determinado, dentro de cierto período comprendido entre 1.200 y 1.300 años.

En el período de 18 años se verifican, por lo común, 70 eclipses, divididos en 41 de Sol y 29 lunares. En un año pueden ocurrir cuando más 7, cuando

menos 2. En el primer caso, 5 pueden ser solares y 2 lunares; en el segundo, ambos deben ser solares.

En ninguna circunstancia puede haber más de 3 eclipses de Luna en un año, y también ocurre que en varios años no hay ninguno.

Aunque los eclipses de Sol son más numerosos que los de Luna en la proporción de 41 á 29 ó de 3 á 2, sin embargo, en un lugar dado se observan más eclipses lunares que de Sol, y esto se debe á que los primeros son visibles en un hemisferio entero de la Tierra, mientras que los eclipses de Sol, ya sean totales ó anulares, sólo marcan en la superficie terrestre una línea ó banda estrecha que no puede pasar de 72 leguas y que rara vez llega á 56 leguas. Cuando se trata de eclipses parciales, es mucho más ancha la zona de visibilidad.

En un eclipse solar atraviesa la sombra de la Luna la superficie terrestre con una velocidad de 730 leguas por hora, ó más de 2 kilómetros por segundo; Du

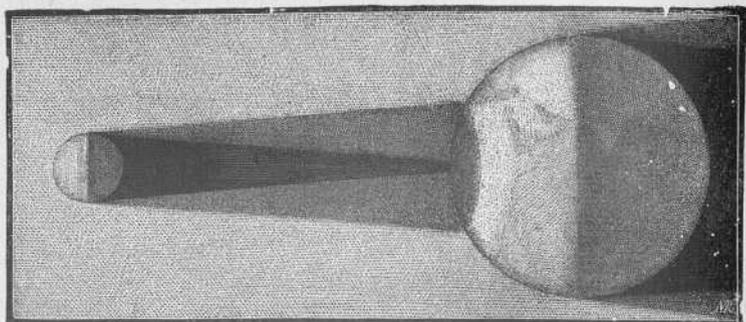


Fig. 134. — Teoría de los eclipses totales de Sol

Séjour calculó que desde el principio hasta el fin puede durar un eclipse solar, en el ecuador, $4^h 29^m 44^s$ y que en la latitud de París el período máximo es de $3^h 26^m 22^s$, pero que el intervalo de tiempo en que puede permanecer el Sol eclipsado centralmente es muy pequeño. La duración de la obscuridad total es mayor cuando la Luna se encuentra en su perigeo y el Sol en su apogeo, toda vez que, como el diámetro aparente de la Luna obtiene entonces su valor máximo y el del Sol su mínimo, el exceso del primero sobre el último, del cual depende la totalidad, alcanza su mayor valor.

El tiempo que dura la obscuridad total producida por un eclipse de Sol varía con la latitud del punto en que se observe, siendo tanto menor cuanto más diste el lugar del ecuador. Du Séjour halló que, en las circunstancias más favorables, la mayor duración posible de la fase de totalidad en el ecuador era $7^m 58^s$.

Uno de los espectáculos más grandiosos que el hombre puede contemplar es, sin duda alguna, el de un eclipse total de Sol, observado desde una empinada montaña, ó en la majestuosa soledad del Océano. Difícilmente pueden las palabras servir para que los que no han tenido la dicha de observar por sí mismos el fenómeno comprendan toda la grandeza y magnificencia de esta indescriptible escena de la naturaleza. Todo indica á nuestro alrededor, á medida que el eclipse avanza, que algo desusado ocurre; las aves buscan sus nidos, cambian

de color las plantas y los ganados dejan de pacer; desciende con rapidez la temperatura, vense correr por la superficie de la Tierra ráfagas luminosas y sombras voladoras, y en el momento de la totalidad llegan á ser tan intensas las tinieblas, que se distinguen fácilmente las estrellas de 1.^a y 2.^a magnitud á la simple vista, y los planetas más lucientes como Venus y Júpiter; la naturaleza entera parece como desmayada y cadavérica, al faltarle por breves instantes la luz del gran lumínar.

Durante los primeros períodos de la historia humana, un eclipse total de Sol era causa de grandes terrores y de angustias indescriptibles, pues en él se veía la cólera de la divinidad ofendida ó el presagio de alguna calamidad inminente. En un mayor estado de progreso, y cuando la ciencia hubo extendido su benéfico influjo en el espíritu de los hombres, dieron lugar estas vanas quimeras á concepciones más nobles y grandiosas de las leyes de la naturaleza, llegándose á

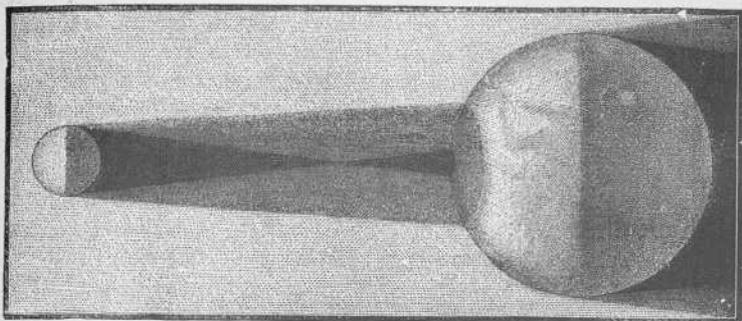


Fig. 135 - Teoría de los eclipses anulares de Sol

considerar los eclipses como las consecuencias necesarias de un proceso uniforme y regular, que sólo difería de los fenómenos ordinarios en su menor frecuencia. Para los astrónomos han sido en todo tiempo valiosos en alto grado, como pruebas de gran delicadeza que les permiten comprobar la exactitud de sus cálculos respecto de la situación de la Luna, deduciendo de aquí nuevos datos para perfeccionar las tablas y la teoría de los intrincados movimientos de nuestro satélite.

En los tiempos modernos, en que tanto interés despierta el conocimiento de la constitución física de los cuerpos celestes, han servido los eclipses para resolver muchos problemas relativos á la composición y estructura del Sol y de la Luna.

En la lámina de la página 233, relativa al último eclipse observado en la península el 28 de mayo de 1900, se indican por líneas, proyecciones y cifras todos los elementos necesarios para la exacta comprensión del fenómeno en su parte geométrica.

Vamos ahora á describir brevemente los principales fenómenos que por lo común se observan durante los eclipses totales de Sol.

Uno de los más notables y constantes es el cambio de color que sufre el cielo. Dice Halley en su relación del eclipse de 1715: «Cuando la fase era pró-

ximamente de 10 dígitos (1), comenzó el cielo á perder su color, pasando de un hermoso y transparente azul á un tono lívido y pulverulento, con algún ligero velo púrpura, obscureciéndose cada vez más hasta la completa inmersión del Sol.»

También se ha notado que al mismo tiempo que cambia el color del cielo, sufren una modificación análoga los objetos terrestres según los progresos del eclipse; esta observación se remonta al año 840 antes de J. C. Keplero refiere, que durante el eclipse solar que ocurrió en el otoño de 1590, se vieron los cuerpos teñidos de amarillo. Estos fenómenos se han observado en épocas recientes.

La obscuridad que se produce durante un eclipse total de Sol no es tan considerable como muchos pudieran llegar á creer. Sin embargo, se encuentra sujeta á grandes variaciones. Dice Ferrer, al hablar del eclipse de 1806, que en el momento de la totalidad era indudable que había más luz que la que nos envía la Luna llena. Por lo general se ha notado que la obscuridad es bastante intensa para que no puedan leerse caracteres de imprenta, si bien esta regla presenta muchas excepciones. La débil iluminación que subsiste durante la totalidad, se debe á la luz reflejada por las regiones de la atmósfera que se encuentran aún expuestas á los rayos directos del Sol, y á la corona, de que pronto hablaremos.

Durante el eclipse de 1842, notaron Piola y Struve que si bien la obscuridad fué tanta que hubieran debido columbrarse las estrellas de 2.^a y 3.^a magnitud, sólo se distinguieron las de 1.^a; este hecho lo explica Belli acudiendo á causas fisiológicas, pues durante el corto intervalo de la obscuridad total no tiene tiempo la vista para reponerse del efecto deslumbrador de los rayos solares, y por lo tanto, se encuentra su sensibilidad como embotada.

Es también notable la rapidez con que reaparece la luz del Sol en cuanto pasa el momento de la totalidad; de este fenómeno dió Halley dos explicaciones, pero como quiera que una de ellas supone la existencia de una atmósfera lunar, que sabemos no tiene nuestro satélite, no nos ocuparemos de ella. Según la otra, antes de la obscuridad total se encuentra la pupila muy contraída á causa del resplandor de los rayos solares, sin que pueda, por tanto, el órgano de la visión percibir inmediatamente la disminución de la luz; pero descansando la vista durante la obscuridad, se dilata de nuevo la pupila y percibe instantáneamente la luz del Sol al concluir la fase de la totalidad.

Cuando el disco lunar, al avanzar sobre el del Sol, reduce este último á una estrecha falce, se suele notar que, inmediatamente antes del principio y después del fin de la totalidad, aparece el borde de nuestro satélite como una hilera de puntos brillantes, separados por espacios oscuros que se llaman las *sierras ó rosario de Baily* (véase la fig. 2 de la lámina de la pág. 235). La explicación más satisfactoria de este fenómeno, que se ha dado hasta ahora, es la de atribuirlo á la proyección de algunas de las montañas de la Luna sobre el disco solar.

Aunque se llaman las sierras de Baily, no fué éste el primer astrónomo que las observó, pues Halley, en una Memoria sobre el referido eclipse de 1715, dice: «Como unos dos minutos antes de la inmersión total, la parte restante del Sol se había reducido á un cuerno muy fino, cuyos extremos parecían perder su

(1) Un dígito es la dozava parte del Sol ó de la Luna, de modo que un eclipse de 6 dígitos quiere decir que se ocultó la mitad del disco solar.

aguzamiento y se presentaban *redondos como estrellas*; en un espacio de un cuarto de minuto próximamente, una parte pequeña del cuerno meridional del eclipse *parecía separada del resto* por un buen intervalo y se asemejaba á una estrella oblonga redondeada por ambos extremos.» El primer eclipse anular observado, en el que se vieron las sierras, es el que describió Maclaurin, del 18 de febrero de 1736-37.

Uno de los fenómenos más interesantes que se perciben durante los eclipses es el de la *corona*, ó halo luminoso que rodea á la Luna (véase la lámina siguiente). Por lo común aparece 3 ó 4 segundos antes de la completa extinción de la luz solar y permanece visible casi en el mismo intervalo, después de su reaparición; puede compararse, por lo general, al disco brillante que pintan los artistas alrededor de la cabeza de los santos.

Son varias las explicaciones que se dieron, según los tiempos, de este fenómeno; ninguna de ellas tiene hoy más valor que el histórico, pues los modernos métodos de análisis que pronto estudiaremos, nos han revelado, en parte al menos, la verdadera constitución y naturaleza de la corona.



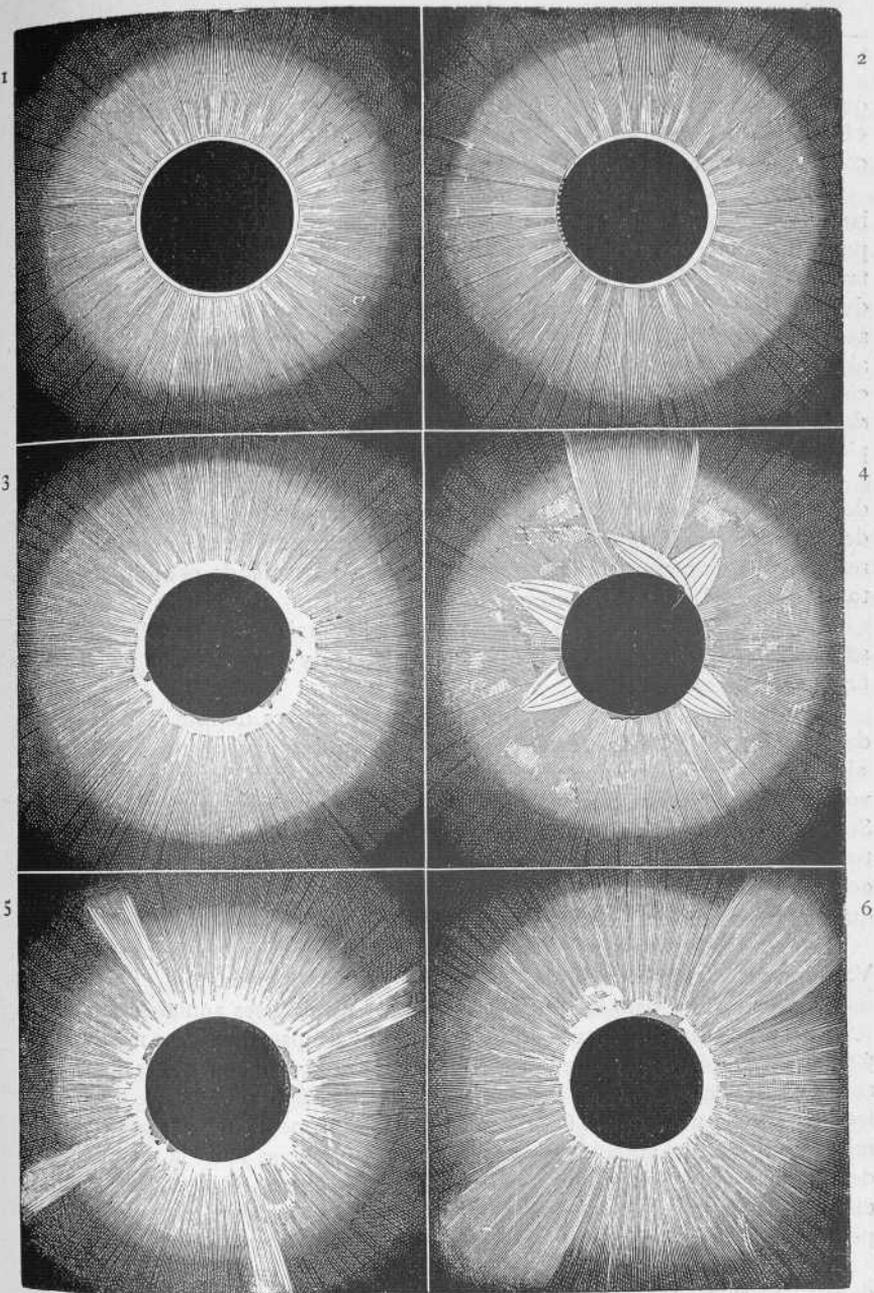
Fig. 136. — Falce solar en un eclipse total de Sol

Según Keplero, se debía á la presencia de una atmósfera alrededor de la Luna; para La Hire la causa productora era la reflexión de la luz solar en las desigualdades de la superficie de la Luna, contiguas al canto del disco, combinada con su paso posterior en la atmósfera de la Tierra.

Dice Grant que su forma circular y su estructura nebulosa, cuya densidad disminuye gradualmente hacia la parte externa, hacen suponer que se debe á un fluido elástico que rodea al globo solar, y que por todas partes gravita hacia su centro; es verdad que los mismos resultados se obtendrían de la existencia de una atmósfera en torno de la Luna; pero, por otra parte, no hay razón que nos haga suponer que nuestro satélite esté dotado de una envoltura semejante, capaz de producir un efecto apreciable. De otro lado, la hipótesis de una atmósfera solar se encuentra confirmada por la analogía que presentan otros cuerpos del sistema planetario y por pruebas de naturaleza positiva que se deducen de la constitución física del Sol.

Delisle opinaba que el anillo luminoso podía deberse á la difracción de los rayos solares que pasaban tangentes al borde de la Luna; Brewster demostró que esta teoría, aunque ingeniosa, era insostenible; sin embargo, Márquez la defendió calurosamente en su Memoria del eclipse del Sol de 1860 observado en España. Según Baxendell, la corona es un anillo nebuloso que rodea al Sol y que refleja su luz.

Las fotografías demuestran que la luz de la corona es mucho más débil que la de la Luna, puesto que sus partes externas han necesitado un tiempo de exposición de 5 segundos para impresionar la placa, mientras que nuestro satélite se retrata perfectamente en 1 ó 2 décimos de segundo.



ECLIPSES DE SOL

1. Eclipse anular. - 2. Eclipse anular del 15 de mayo de 1836; sierras de Baily. - 3. Eclipse total del 28 de julio de 1851, observado por Dawes. - 4. Eclipse de 1858, observado por Liais. - 5. Eclipse total del 18 de julio de 1860. - 6. Eclipse total del 6 de julio de 1842.

La existencia de la corona se conoce de muy antiguo, y Filostrato menciona que la muerte del emperador Domiciano se anunció por un eclipse total de Sol. «Entonces apareció en el cielo un prodigio de esta naturaleza. Una especie de corona, parecida al Iris, rodeaba el orbe del Sol y oscurecía su luz.»

Plutarco es aún más explícito en su alusión, pues al hablar de un eclipse solar que acababa de efectuarse, trata de probar por qué la obscuridad producida por este fenómeno no es tan profunda como la de la noche. Empieza por sentar, como base de su raciocinio, que la Tierra es mucho mayor que la Luna, y después de citar varios autores, agrega: «Lo que ocurre es que la Tierra, á causa de su magnitud, oculta por completo al Sol....; pero aunque la Luna puede algunas veces tapar todo el Sol, es, sin embargo, el eclipse de duración insuficiente y también de corta amplitud, porque se ve *un reflejo particular alrededor de la circunferencia*, que no permite que la obscuridad sea muy intensa ó completa.»

También parece que el anillo fué observado por Clavio durante el eclipse del 9 de abril de 1567, quien lo atribuyó á la parte del margen solar que quedó descubierta; mas Keplero demostró que esto era imposible. Algunos observadores han visto la corona en los eclipses parciales, apareciendo el anillo en el punto del disco solar que primero ocultó la Luna.

Otros de los accidentes ó fenómenos más admirables de los eclipses solares son las *llamas ó protuberancias rojas*, cuyo origen y naturaleza ha revelado por fin el análisis espectral.

La observación más antigua que se conserva acerca de este fenómeno es la de Julio Firmico, del 17 de julio de 334, en cual descripción, no obstante, hay algunas obscuridades; sigue luego el relato del capitán Stannyan, que observó en Berna el eclipse total de 1706, dirigido á Flamsteed; en él se lee «que el Sol estuvo totalmente oscurecido durante cuatro minutos y medio; que una estrella fija y un planeta aparecieron muy brillantes; y que antes de terminar el eclipse *se mostraron unas radiaciones de color de sangre* por el limbo izquierdo, que sólo duraron seis ó siete segundos de tiempo.»

Posteriormente observaron las protuberancias rojas Halley, Louvelle, Hayes, Vassenio y otros muchos, hasta llegar á los contemporáneos.

También se ha visto las protuberancias en los eclipses anulares y parciales. El aspecto que presenta la Luna durante los eclipses de Sol es muy variable y singular. Keplero dice que la superficie lunar se distingue á veces de un color rojizo. Baily, en su relación del eclipse anular de 1836, refiere que antes de la formación del anillo era la faz de la Luna perfectamente negra; pero que examinándola con un anteojo, mientras duraba el anillo, se teñía la circunferencia de un color rojizo de púrpura, que se extendía por todo el disco, y que crecía en intensidad á medida que se aproximaba al centro, de tal modo que en este punto su color era negro ó poco menos.

Vassenio en 1733 y Ferrer en 1806 son los únicos astrónomos que hablan de sus observaciones respecto de las irregularidades de la superficie lunar durante un eclipse central. Arago y otros trataron de comprobar esta observación en 1842, pero sin resultado. En la misma fecha vió este ilustre astrónomo el contorno obscuro de la Luna, proyectado sobre el cielo brillante, 40 minutos

después del principio del eclipse; atribuyó el fenómeno á la proyección del satélite sobre la atmósfera solar, cuyo brillo, por un efecto de contraste, hizo visible el borde lunar; este fenómeno es muy raro, si bien se ha observado posteriormente por otros individuos.

En varias ocasiones se ha tratado de percibir la sombra de la Luna en su paso por la superficie de la Tierra; Airy lo consiguió en 1851 y Forbes y Plana en 1842; la dificultad consiste en la inmensa velocidad de la sombra, que es de más de 12 leguas por minuto: la observación más antigua que se registra de este fenómeno es la de Duillier, en 1706.

También se ven, durante los eclipses totales de Sol, unos penachos y radiaciones luminosas, de color blanco plateado, que se atribuyen á un fenómeno de difracción. El examen de las láminas que acompañamos dará al lector más clara idea que la que obtendría de nuestras explicaciones.

Veamos ahora qué dicen las crónicas é historias, de algunos eclipses notables.

El más remoto de que se tenga noticia y que refieren los anales chinos, es el ocurrido el 13 de octubre de 2128 años antes de J. C.

Uno de los más famosos que registra la historia es el que tuvo lugar en el año 585 antes de nuestra era; es notable, no sólo porque Tales lo predijo, siendo el primer astrónomo de la antigüedad que dió la verdadera teoría de estos fenómenos, sino también porque ha servido para fijar la fecha exacta de un suceso importante de la historia antigua. Herodoto habla de una guerra entre lidios y medos, que permanecía indecisa sin que la victoria se declarase ni por unos ni por otros. El año sexto de la guerra tuvo lugar un combate, durante el cual, en lo más recio de la pelea, súbitamente, sucedieron al día las tinieblas. Este suceso lo había anunciado Tales de Mileto á los jonios, avisando el año preciso en que había de ocurrir. Cuando los lidios y medos notaron el cambio, cesaron de batallar, y con gran empeño concertaron la paz, que para hacerla duradera se afirmó con matrimonios. La fecha exacta de este interesante acontecimiento se ha discutido por largo tiempo; pero, gracias á los trabajos de Airy, se sabe hoy día, con toda certeza, que tuvo lugar el 28 de mayo de 585 antes de J. C.

Otro eclipse importante es el que menciona Jenofonte en el *Anabasis*, que fué causa de la toma de Larisa, ciudad de la Media, por los persas. En la retirada de los griegos á la margen oriental del Tigris, poco después de la prisión de sus jefes, cruzaron el río Zabato, luego un barranco y por fin llegaron al Tigris, en donde, según Jenofonte, se detuvieron. «Y con esta pérdida se partieron los enemigos. Y así los griegos, caminando seguramente lo que quedaba del día, llegaron al río Tigre, donde había una ciudad grande y despoblada que se llama Larisa, que otro tiempo fué habitada de los medos... Esta ciudad tuvo cercada el rey de Persia, cuando los persas ganaron el reino á los medos; y nunca la pudo tomar hasta que la obscureció el Sol cubierto de nieblas, y los ciudadanos, desmayados de miedo, se la dieron y así fué tomada...»

La detallada descripción de Jenofonte ha permitido á Layard, Jones y otros, identificar la ciudad de Larisa, que es la moderna Nimrod, y á Mespila, que es Mossul. Claro está que el fenómeno á que se refiere el autor griego, y que per-

mitió la captura de la ciudad indicada, no fué sino un eclipse total de Sol. Airy ha calculado que tuvo lugar el 19 de mayo de 557 antes de J. C.

Cuando la expedición contra los lacedemonios, ocurrió un eclipse solar total, cuya fecha se supone en 3 de agosto de 431 antes de J. C., que por poco malogra la empresa, á no habérsele ocurrido un ingenioso artificio á Pericles, jefe del ejército. «Dispuesta la flota y á bordo Pericles de su galera, ocurrió un eclipse de Sol; se consideró como mal presagio la repentina obscuridad, desmayando el ánimo de los marineros. Observando Pericles el asombro y la confusión del piloto, quitóse la clámide, y cubriéndole con ella los ojos, le preguntó si veía en esto algo terrible y de pavoroso agüero. A su respuesta negativa agregó Pericles: «¿Y qué diferencia hay entre *esto* y *lo otro*, si no es que algo más grande que mi clámide produce el eclipse?»

Un antiguo eclipse, conocido por el de Agatocles, ha sido objeto también de las investigaciones de Baily y de Airy; tuvo lugar el 14 de agosto de 310 antes de J. C., y según los historiadores, marca la irrupción de Agatocles en África, donde taló los territorios cartagineses.

Aunque los eclipses de Luna tengan menos importancia que los de Sol, no quiere decir esto que carezcan de interés. Pueden ser también totales ó parciales, pero nunca anulares, porque el diámetro de la sombra de la Tierra á su mayor distancia posible de la Luna es siempre superior al diámetro de nuestro satélite. La duración máxima de un eclipse total de Luna es de $1^{\text{h}} 50^{\text{m}}$, y si se cuenta desde el primero hasta el último contacto con la penumbra, puede durar el fenómeno $5^{\text{h}} 30^{\text{m}}$.

La observación demuestra que la obscuridad de la Luna dura más tiempo de lo que el cálculo indica; esto se debe á que en la teórica no se lleva en cuenta el espesor y densidad de los estratos inferiores de la atmósfera terrestre, que absorben la luz del Sol y producen casi el mismo efecto que la parte sólida de nuestro globo. Según resulta de las numerosas observaciones efectuadas por Beer y Maedler durante el eclipse del 26 de diciembre de 1833, el ancho aparente de la sombra terrestre se encontraba aumentado en $\frac{1}{80}$ á causa de la atmósfera de la Tierra.

En la fig. 137 se representa la marcha de la Luna durante un eclipse total; el primer circulito de la derecha marca el cuerpo lunar medio envuelto en la penumbra y en el momento en que se verifica el primer contacto con la sombra; el segundo círculo del centro marca el instante del eclipse central, y el último, el desprendimiento del limbo de la Luna del cono de sombra proyectado en el espacio por la Tierra. El eclipse puede ser también total, y no central, cuando la órbita de la Luna atraviesa el cono de sombra en cantidad suficiente, sin pasar por el centro.

El eclipse parcial se verifica cuando el nodo de la Luna dista mucho del cono, pues en este caso no penetra todo su disco en la sombra, y la obscuridad es incompleta.

Los eclipses del Sol principian siempre por el borde occidental del astro radiante, lo cual se entenderá fácilmente, recordando que el movimiento real de la Luna se efectúa de occidente á oriente y que, al interponerse entre el Sol y nosotros, el primer borde mordido tiene que ser precisamente el del Oeste.

En los eclipses de Luna ocurre lo contrario, y el primer borde obscurecido es del Este, y el último que abandona la sombra es del Oeste.

Son muy raros los casos en que durante un eclipse total y central de Luna llega á desaparecer por completo de la vista el disco de nuestro fiel satélite, y, por lo general, se columbra á la simple vista, y desde luego con el telescopio, de un profundo color cobrizo, de tono variable, que unos comparan al del hierro derretido, otros al de la sangre, etc. Dice el astrónomo Wargentín, que observó el eclipse total de Luna del 18 de mayo de 1761, «que el cuerpo lunar desapareció tan por completo, que no se percibía el menor vestigio del disco del satélite, ni

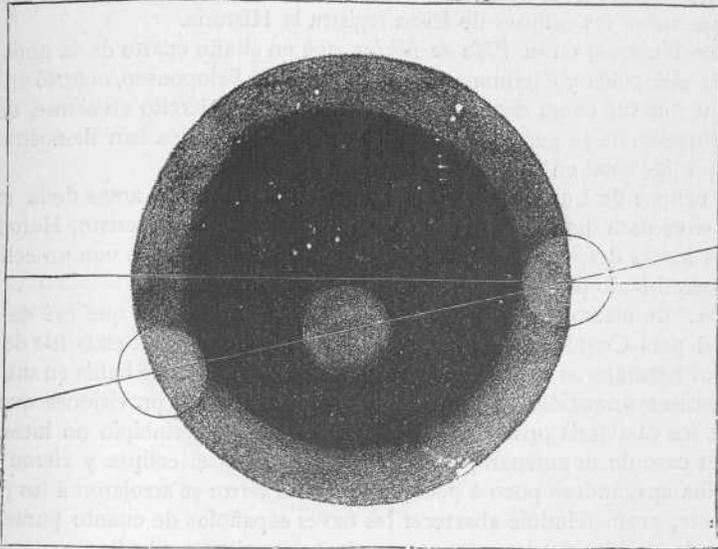


Fig. 137. — Eclipse total de Luna

á la simple vista, ni con el telescopio, por más que el cielo estaba despejado y las estrellas próximas á la Luna se distinguían con toda claridad.»

Este color rojo de cobre fué por largo tiempo un fenómeno inexplicable; creían algunos que era debido á la luz natural inherente á la superficie de nuestro satélite; mas al fin Keplero presentó su verdadera teoría, demostrando que lo causaba la refracción que sufrían los rayos solares al atravesar la atmósfera de la Tierra, y que separados de su dirección rectilínea, caían sobre el suelo lunar, no obstante la interposición de nuestro globo. Depende el tono rojizo de la Luna eclipsada de la absorción que experimentan los rayos azules de la luz solar cuando pasan á través de la envoltura gaseosa de nuestro planeta, del propio modo que el cielo se enrojece, con gran frecuencia, en los momentos que anteceden y siguen á la salida ó á la postura del Sol. Debido á variabilidad de las condiciones meteorológicas de la atmósfera, la cantidad de luz que hiere la superficie de la Luna se halla sujeta á grandes fluctuaciones, según que el aire esté más seco ó húmedo y dotado de mayor ó menor diafanidad; si la parte de atmósfera

que atraviesan los rayos solares se encuentra relativamente libre de vapor de agua, absorberá los rayos rojos de la luz casi en totalidad, dejando pasar los azules, que serán los únicos que herirán la superficie lunar, siendo ésta escasamente visible. Si, de otro lado, la región de la atmósfera que atraviesan los rayos del Sol está saturada de vapor, tan sólo pasarán los rayos rojos y el disco de la Luna aparecerá de este mismo color.

Mas como también es posible que la atmósfera se encuentre en parte saturada y en parte seca, la superficie lunar presentará unas zonas rojizas y lucientes y otras azuladas ó blanquizas, pero en extremo opacas y casi invisibles.

A los caldeos debemos, según refiere Ptolemeo, las observaciones más antiguas que sobre los eclipses de Luna registra la Historia.

Dice Plutarco, en su *Vida de Nicias*, que en el año cuarto de la nonagésima primera olimpiada y décimonono de la guerra del Peloponeso, ocurrió un eclipse de Luna que fué causa de grandes desastres para el ejército ateniense, debido á la obstinación de su general Nicias; los cálculos modernos han demostrado que el eclipse fué total en Siracusa.

El eclipse de Luna acaecido el 13 de marzo del año 3 antes de la era cristiana, sirve para determinar la fecha del nacimiento de Jesucristo; Herodes murió tres meses después, y según Josefo, coincidió este suceso con un eclipse lunar, comprobado por los cálculos modernos.

El 1.^o de marzo de 1504 tuvo lugar un eclipse de Luna que fué de grande utilidad para Cristóbal Colón; hallábase el ilustre navegante en la isla de Jamaica, y los naturales se negaban á facilitarle víveres, de los que había en sus buques gran escasez; anuncióles Colón que si no aportaban las provisiones que había pedido los castigaría privando á la Luna de su luz; al principio no hicieron los salvajes caso de su amenaza; pero cuando comenzó el eclipse y vieron que la Luna iba apagándose poco á poco, muertos de terror se arrojaron á los pies del almirante, prometiéndole abastecer las naves españolas de cuanto pudieran necesitar de su isla; desde entonces quedaron sumisos y obedientes, teniendo á Colón por un brujo, que á su antojo disponía de los astros.

Cuando un cuerpo celeste se interpone entre la Tierra y otro astro, y lo tapa, se dice que está ocultado ó que hay ocultación. Rigurosamente hablando, un eclipse de Sol es una ocultación de este luminar por la Luna; pero el uso ha hecho que se llame eclipse.

Los fenómenos más importantes de este género son las ocultaciones de los planetas y de las estrellas brillantes por la Luna; pero mayor interés causa todavía, por su misma rareza, la ocultación de un planeta por otro planeta.

Como el diámetro aparente de la Luna viene á ser de medio grado próximamente, se deduce que todas las estrellas y planetas situados en una zona que se extienda unos 15' á ambos lados de su curso, se ocultarán necesariamente durante su revolución mensual por la eclíptica. El brillo excesivo de la Luna sobrepuja por completo al de las estrellas débiles, pero con un mediano anteojo pueden observarse las ocultaciones de las estrellas más notables. En el Almanaque Náutico del Observatorio de San Fernando y en los Anuarios de los Observatorios extranjeros se publican tablas con los anuncios de las horas á que deben ocurrir las ocultaciones de las principales estrellas y planetas.

Hay que tener presente que la inmersión ó desaparición de la estrella tiene lugar siempre por el limbo de la Luna que precede á su movimiento, ó sea por su borde oriental; desde el novilunio hasta el plenilunio se mueve la Luna con su borde obscuro hacia adelante, y desde el plenilunio á la neomenia precede á su marcha el limbo iluminado; durante el primer intervalo, por lo tanto, la inmersión se verifica por el borde obscuro y la emersión por el iluminado; lo contrario ocurre en la segunda época, y las estrellas desaparecen por la parte brillante para reaparecer por la obscura. Si nos ponemos á observar con un antejo una estrella que se oculte por el limbo iluminado, da idea, con su aproximación

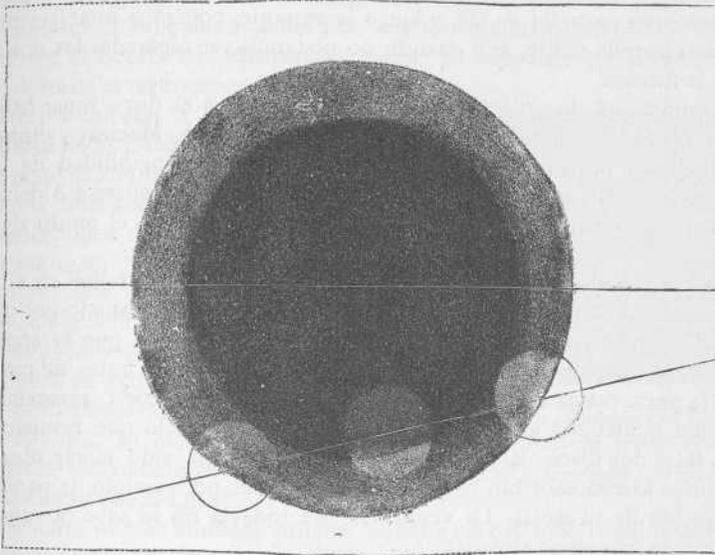


Fig. 138. - Eclipse parcial de Luna

gradual al margen visible, del momento en que debe esperarse su desaparición; en tanto que si se oculta por el borde obscuro, y la Luna cuenta algunos días de fecha, parece extinguirse en medio del aire sin el menor antecedente ó causa visible de desaparición. Lo cual, como sucede instantáneamente, y sin la más leve disminución previa de luz, siempre causa cierta sorpresa, y aun si la estrella es de regular brillo y magnitud, sobrecoge é impone tan repentino anonadamiento. Del mismo modo, la reaparición de la estrella, cuando la Luna ha pasado por delante de ella, y la parte iluminada mira hacia Oriente, se verifica, no por la concavidad que termina dicha parte, sino por el contorno invisible del círculo completo, y es, por lo repentina, poco menos sorprendente que su desaparición en el caso contrario.

Se ha advertido frecuentemente en las ocultaciones una ilusión óptica de naturaleza muy singular é inexplicable, y es que la estrella se deja ver proyectada sobre el disco de la Luna, y dentro de su margen hasta cierta profundidad, antes de desaparecer. Herschel, que es quien califica el fenómeno de ilusión

óptica, dice que no es imposible, aunque sí muy improbable, que la estrella brille en semejantes ocasiones al través de profundas hendeduras del mismo globo lunar. Debiera atenderse con esmero á las ocultaciones de las estrellas dobles inmediatas, para ver si entrambas se proyectan de esta manera, así como para otros fines relacionados con la teoría de estos astros. Uno solo apuntaremos aquí, á saber: que una estrella doble demasiado contigua para que telescopio alguno la presente separada, puede, sin embargo, descubrir esta cualidad por el modo como desaparezca. Así, por ejemplo, si una estrella considerable, en lugar de experimentar una extinción instantánea y completa, desapareciese en dos tiempos distintos, que se siguiesen inmediatamente uno á otro, perdiendo primero una parte de su luz, y luego la restante, podemos estar seguros de que es una estrella doble, aun cuando no podamos ver separadas las dos estrellas que la forman.

Los fenómenos de proyección de la estrella sobre el disco lunar han sido observados por astrónomos tan distinguidos como Smyth, Maclear y otros; dice Smyth que debe atribuirse el fenómeno á la mayor refrangibilidad de la luz blanca de la Luna respecto de la luz roja de la estrella (se refiere á Aldebarán), cuyo efecto es elevar el disco aparente en el momento y en el punto de contacto.

En 1699 intentó La Hire explicar la aparición de las estrellas en el disco de la Luna, suponiendo que el disco verdadero estaba acompañado por una luz *parásita* ó por un círculo de disipación, como antes se llamó, que agrandaba el diámetro aparente de la estrella, y á cuyo través se muestra antes de pasar detrás de la parte opaca del globo lunar. Arago acepta esta teoría, agregando que el foco del ocular del antejo puede ser imperfecto, de lo que resultaría una imagen falsa del disco. El que este fenómeno no haya sido jamás observado por algunos astrónomos tan hábiles como Herschel, por ejemplo, le parece una confirmación de su teoría. La verdad es que todavía no se sabé la causa que produce este fenómeno singular.

El 2 de enero de 1857 se observó una ocultación del planeta Júpiter por la Luna. Varios astrónomos percibieron como un penacho oscuro y sombreado que, arrancando del borde de la Luna, se proyectaba sobre el planeta. Simms notó que durante la emersión se marcaba el verdadero limbo de la Luna sobre el disco del planeta, como un trozo negro de lápiz que se desvanecía á medida que aumentaba la distancia.

La última ocultación de Venus por la Luna se observó el 22 de mayo de 1898 por gran número de astrónomos, gracias á la difusión que actualmente tienen los anuncios astronómicos y al creciente interés que despiertan las maravillas de los cielos. El Sr. Comas estudió el fenómeno en el *Observatori Catalá*, sito en San Feliú de Guíxols, y á este astrónomo se debe el dibujo de la fig. 139. Desgraciadamente en España no era completa la ocultación, y sólo se verificaba una aproximación muy grande de los dos astros, lo que se llama apulso. Este fué, según el Sr. Comas, de un minuto (de arco); la observación se efectuó con la ecuatorial de 22 centímetros y amplificación tan sólo de 40 veces. Venus parecía muy blanca, y la Luna anaranjada; el pequeño círculo que se ve cerca del cuerno de la Luna representa uno de los circos de ésta, que reflejaba la luz del

Sol con tal viveza, que hacía el efecto de una estrella de 7.^a magnitud, proyectada sobre nuestro satélite.

El 9 de septiembre de 1897 ocurrió una ocultación de Marte por la Luna, pero en circunstancias poco favorables, pues el planeta desapareció detrás de nuestro satélite hallándose el Sol sobre el horizonte, entre la una y las dos de la tarde. Se hicieron, sin embargo, observaciones interesantes del fenómeno.

El 8 de mayo de 1859 observó Dawes una ocultación de Saturno, la que describe en los términos siguientes: «En el instante de la inmersión se veía el borde obscuro de la Luna perfectamente definido sobre los anillos y el globo del planeta, sin que presentase la menor deformación; alrededor de la Luna no se percibió luz de ninguna especie. Los satélites también desaparecieron precisamente en el borde, que apenas era visible. El tono pálido y verdoso de Saturno contrastaba de un modo marcadísimo con la luz amarillenta de la Luna.»

Durante el año de 1900 ocurrieron nada menos que tres ocultaciones de Saturno: en junio, en julio y en septiembre; esta última se observó, en general, en buenas condiciones atmosféricas y á hora en extremo cómoda, poco después de la puesta del Sol. El planeta desapareció lentamente por el borde obscuro de la Luna,

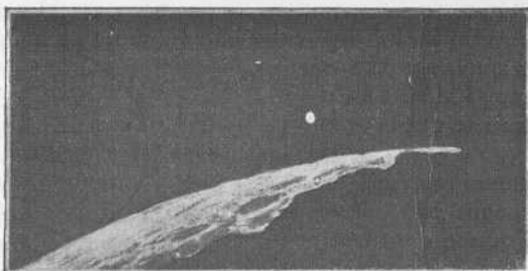


Fig. 139. — Apulso de Venus, observado en España (Imagen directa). Dibujo de M. Comas Sola
(Boletín de la Sociedad Astronómica de Francia)

sin deformarse lo más mínimo, prueba, aunque no del todo concluyente, de la carencia de atmósfera de nuestro satélite. El tiempo invertido por el planeta y su anillo en desaparecer, variaba según la posición del observador sobre la Tierra, y en algunas partes fué de 172 segundos.

La observación más antigua que se conoce de una ocultación es la de Marte por la Luna, que menciona Aristóteles en su obra *De Caelo*, lib. II, cap. 12. Keplero calculó que este suceso hubo de ocurrir el 4 de abril de 357 antes de Jesucristo. En los anales astronómicos de los árabes se registran muchas ocultaciones de planetas por la Luna.

Como dijimos antes, las ocultaciones de un planeta por otro son en extremo raras; mas sin embargo, se conocen algunos casos. Keplero dice que en la noche del 9 de enero de 1591 observó una ocultación de Júpiter por Marte. También afirma que Moestlin presenció una ocultación de Marte por Venus, el 3 de octubre de 1590. Venus fué ocultada por Mercurio el 17 de mayo de 1737. Como todas estas observaciones, menos la última, fueron hechas á la simple vista, puesto que son anteriores al invento del anteojo, es muy posible que los planetas no se confundieran en realidad, sino que, por hallarse muy próximos, presentaran el aspecto de un solo objeto; una cosa análoga ocurrió con Venus y Júpiter el 21 de julio de 1859.

Asimismo se ha observado alguna vez la ocultación de un satélite de Júpiter por otro.

Muy raras son las ocultaciones de estrellas por los planetas; Cassini observó la de una estrella de Acuario por Marte, el 1.º de octubre de 1672, y Young igualmente, en la noche del 23 al 24 de julio de 1892, observó la ocultación por Marte de una estrella de 10.^a magnitud.

Los satélites de Júpiter, según sabemos ya, caminan en sus órbitas de occidente á oriente, siguiendo la analogía de los planetas y de la Luna, en planos que casi coinciden con el del ecuador del primario, ó son paralelos á sus bandas. Este último plano forma con el de la órbita del planeta un ángulo de $3^{\circ} 5'$, y por lo mismo está poco inclinado respecto del plano de la eclíptica. En consecuencia, se nos presentan sus órbitas casi de canto ó como líneas rectas, en las cuales parece que oscilan hacia uno y otro lado, pasando unas veces por delante de Júpiter, sobre cuyo disco ya se dejan ver claramente con buenos anteojos, ó bien proyectan sus sombras en forma de pequeñas manchas redondas y oscuras; y otras veces, ocultándose detrás del disco, ó desapareciendo eclipsados por la sombra, y á cierta distancia de él. En estos eclipses es donde hallamos datos exactos para la construcción de las tablas de los movimientos de los satélites, como también señales para determinar las diferencias de longitud.

En lo esencial, los eclipses de los satélites son perfectamente análogos á los de Luna, y sólo difieren en varios puntos accesorios. Por razón de la distancia mucho mayor de Júpiter al Sol y de su mayor tamaño, el cono de su sombra es también mucho más prolongado y de mayores dimensiones que el de la Tierra. A lo que se agrega que los satélites son bastante menores en proporción del planeta primario, sus órbitas menos inclinadas sobre la eclíptica, y de dimensiones más reducidas comparativamente que en la Luna. En virtud de estas causas atraviesan los tres satélites interiores de Júpiter la sombra, y se eclipsan totalmente á cada revolución; y aunque el cuarto, por la mayor inclinación de su órbita, deja algunas veces de eclipsarse, y puede otras pasar rasante al límite del cono y experimentar un eclipse parcial, con todo, son éstas las menos, y comúnmente hablando, acaecen sus eclipses á cada revolución como en los anteriores.

Además, estos eclipses no se ven, como los de la Luna, desde el centro del movimiento, sino desde un punto distante de él y de situación variable respecto de la línea de la sombra. Y aunque esto no produzca alteración en el momento y duración de los eclipses, la produce muy grande en su visibilidad y en las situaciones aparentes de los satélites respecto del planeta en los momentos de su entrada en la sombra y su salida de ella.

Cuando los satélites entran en el cono de sombra, se dice que tiene lugar la inmersión, y cuando salen, la emersión, términos que por sí mismos se explican. En íntima relación con los eclipses se encuentran las ocultaciones, fenómenos que ocurren cuando el cuerpo del planeta tapa á los satélites por su interposición directa, independientemente de la sombra.

Después que Júpiter ha pasado de su conjunción con el Sol, se proyecta la sombra hacia el Oeste, y en esta época las inmersiones y emersiones del III y IV satélites pueden observarse, pero no siempre las del II; y tan sólo las emer-

siones del I, á causa de su proximidad al planeta y después de ser ocultado, son visibles, pues en este caso la inmersión se verifica detrás del disco jovial.

Cuando Júpiter se encuentra cerca de su oposición, se verifican las inmersiones y emersiones en la proximidad de los limbos del planeta; y á medida que de nuevo se acerca á su conjunción, se proyecta la sombra hacia la región oriental, dando origen á una serie de fenómenos, en parte complementarios de los que antes indicamos. De otro modo, así como las inmersiones y emersiones del III y IV satélites son siempre visibles y con frecuencia las del II, tan sólo pueden columbrarse las inmersiones del I, porque las emersiones tienen lugar detrás del disco de Júpiter.

Estos fenómenos interesantes pueden observarse con un antejo mediano, pero mucho más poderoso necesita ser el que se emplee para estudiar las ocultaciones de un modo satisfactorio; con un buen instrumento puede seguirse la desaparición gradual del satélite desde el primer contacto con el limbo del planeta, hasta su desaparición final detrás del disco. Las ocultaciones del IV satélite se ven completas, esto es, la desaparición y la reaparición, y también las del III suelen serlo. Pero es mucho más raro que pueda observarse el fenómeno completo cuando se trata del II satélite; las inmersiones y emersiones del I satélite tan sólo pueden ser visibles un día ó dos antes y después de la oposición de Júpiter, pues en todo otro caso, ora la inmersión, ya la emersión, ocurren cuando el satélite se halla obscurecido por la sombra del planeta. Así sucede, generalmente, que de la conjunción á la oposición tan sólo son visibles las reapariciones del I y II satélites, y de la oposición á la conjunción, únicamente las desapariciones.

CAPITULO III

LEYES Y PERTURBACIONES ASTRONÓMICAS

Variación secular de la oblicuidad de la eclíptica y nutación. — Aberración de la luz.
Sistemas astronómicos. — Pasos de Venus

Aunque en lugar oportuno dijimos que la inclinación del plano de la eclíptica respecto del ecuador es invariable, no es esto verdad en todo rigor, puesto que ofrece un cambio apreciable de $46''$ en cada cien años. Esta variación la han echado de ver los astrónomos por el aumento y disminución progresiva de las latitudes de las estrellas, situadas en regiones opuestas. Su efecto es aproximar más y más el plano de la eclíptica al del ecuador, pero esta disminución de la oblicuidad no pasará de límites muy moderados, después de lo cual (si bien en un período inmenso de siglos, que es un ciclo compuesto, resultante de la acción reunida de todos los planetas) volverá á aumentar, y oscilará así en uno y otro sentido, respecto de una posición media, sin que la extensión de los desvíos de dicha posición llegue á $1^{\circ} 21'$; el intervalo de tiempo que exige una de estas oscilaciones es próximamente de unos 10.000 años.

Uno de los efectos de esta variación del plano de la eclíptica, á saber, el que hace variar sus nodos con un plano fijo, va envuelto con la precesión de los equinoccios, de la cual sólo puede distinguirse por medio de la teoría. Y sin embargo, este último fenómeno es debido á otra causa, análoga en verdad, desde un punto de vista general, á la que produce la variación secular de la oblicuidad de la eclíptica, pero modificada singularmente por las circunstancias que concurren en su producción.

La precesión de los equinoccios, como hemos manifestado, consiste en una retrogradación continua del nodo del ecuador con la eclíptica, y su efecto varía según la época del año y la distancia de la Tierra al Sol; en dos épocas del año que corresponden á los equinoccios, la influencia del Sol es cero, y otras dos veces, ó sea en los solsticios, alcanza su valor máximo. En ningún momento sucesivo presenta exactamente un mismo valor, y por consecuencia, la precesión de los puntos equinociales es irregular, y la oblicuidad de la eclíptica se halla sujeta á variaciones semi-anoas, toda vez que la fuerza solar que produce los cambios de oblicuidad es constantemente variable, y el movimiento de rotación de la Tierra es continuo.

Esto da origen á un pequeño movimiento oscilatorio del eje terrestre, que se llama *nutación solar*; de mucha más importancia es la nutación producida por la influencia de la Luna, hasta tal punto, que Bradley la descubrió mucho antes de que la teoría demostrase su existencia.

La nutación del eje de la Tierra es un pausado y pequeño movimiento giratorio, que, de existir solo, haría que el polo describiese en el cielo, en un período de 18 años y medio, una pequeña elipse, cuyo eje mayor mediría $18''{,}5$ y el menor $13''{,}74$; el semieje mayor es igual, por lo tanto, á $9''{,}25$, cuya cantidad se llama coeficiente de nutación. La consecuencia de este movimiento real del polo es un adelanto y un retroceso aparentes de todas las estrellas hacia el polo, en el mismo período de tiempo. Por esto, también, el lugar del equinoccio en la eclíptica se determina por la situación del polo en el cielo, y el mismo influjo producirá un movimiento alternativo hacia adelante y hacia atrás de los puntos equinociales, resultando que las longitudes y las ascensiones rectas de las estrellas aumentarán y disminuirán en los mismos períodos.

Estos movimientos de precesión y nutación son comunes á todos los cuerpos celestes, así fijos como errantes; y esta circunstancia hace que sea imposible atribuirlos á otra causa sino á la del movimiento real del eje de la Tierra, como hemos indicado. Si sólo afectara á las estrellas, se podría, con igual fundamento, atribuirlo á una rotación real del cielo estrellado sobre nuestro eje, que pasase por los polos de la eclíptica en 25.868 años, y á un movimiento elíptico de este eje en poco más de 18 años; pero toda vez que afecta al Sol, á la Luna y á los planetas, que están dotados de movimientos independientes y distintos de los de la bóveda estrellada, no puede suponerse que dependa sino del movimiento real de la Tierra.

Otro fenómeno importante que debe tomarse en consideración al reducir las observaciones astronómicas, es el que se conoce con el nombre de aberración de la luz. Ni la nutación ni la precesión alteran los lugares aparentes de los astros entre sí; en cuanto de estas causas depende, los vemos como están, si bien desde una estación más ó menos inestable, así como desde un bajel vemos en su verdadera forma y colocación los objetos lejanos en la costa, á pesar de la continua elevación y depresión que causa aparentemente en ellos el movimiento de balance y cabezada de la inquieta estación desde donde los contemplamos. Pero hay una causa óptica, independiente de la refracción y de la perspectiva, que produce cierta alteración en las posiciones relativas de los astros, y que, por lo mismo, nos presenta el cielo bajo un aspecto ligeramente desfigurado y cuyo influjo es preciso calcular y llevar en cuenta para obtener un conocimiento puntual del lugar de cualquiera de ellos.

Esta causa es lo que se llama, como indicamos, la aberración de la luz, efecto singular y sorprendente, dimanado de hallarnos en una estación que no está en reposo, sino en movimiento rápido, y de que las direcciones aparentes de los rayos luminosos no son las mismas para un espectador en movimiento, que para otro en reposo. Aunque la luz se propaga con la velocidad enorme de 75.000 leguas por segundo, y podemos considerar su propagación como instantánea para todas las aplicaciones terrestres, no ocurre lo mismo en los problemas astronómicos, en que, tratándose de millones de leguas, hay necesidad de proceder con mayor escrupulosidad. Un ejemplo bien sencillo servirá para demostrar este punto; si aceptamos que la distancia de nuestro planeta al Sol sea de 37 millones de leguas, una simple operación aritmética nos demostrará que, caminando la luz 75.000 leguas por segundo, el tiempo que tardan en llegar hasta la Tie-

rra los rayos solares es igual á $8^m 13^s,3$, por manera que, al mirar al Sol en un momento dado, no lo vemos como brilla en aquel instante, sino como brillaba $8^m 13^s,3$ antes. Estas diferencias son mucho más considerables, y pueden elevarse hasta siglos, cuando se trata de las estrellas, según tuvimos ocasión de ver en lugar oportuno.

Si la Tierra se encontrara en reposo, este fenómeno sería inmaterial; pero toda vez que nuestro planeta se mueve, se deduce que, cuando los rayos solares hieren la vista de un habitante colocado en la superficie, se encontrará éste separado algún tanto del punto del espacio, que en el momento en que el rayo luminoso partió del Sol; por consecuencia, verá á este luminar más allá del verdadero lugar que ocupa cuando el rayo penetra en su ojo. En el espacio de $8^m 13^s,3$ habrá caminado la Tierra en su órbita unos $20''$, y esta cantidad se llama *la constante de aberración*. Puede definirse la aberración diciendo que es un fenómeno que resulta del efecto combinado de la propagación de la luz y del movimiento de la Tierra en su órbita.

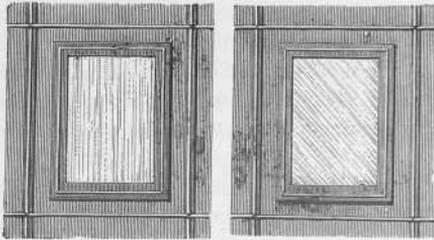


Fig. 140. - Explicación de la aberración

Una persona expuesta á un aguacero, que suponemos cae perpendicularmente en perfecta calma, si permaneciese en pie é inmóvil, recibiría la lluvia en el sombrero, que podría servirle en tal caso, si era grande, de completo amparo; mas si echase á correr en cualquiera dirección, ya el agua le daría en la cara, del mismo modo que si, manteniéndose parado, se hubiera levantado un viento de

igual velocidad que la hubiese impelido en aquella dirección. Supongamos que en un coche de ferrocarril observamos por la ventana las gotas de una lluvia vertical; si el coche está inmóvil, parecerá que todas las gotas se mueven en su dirección real, esto es, verticalmente. Pero si el tren está en marcha y si mientras la gota *a* se mueve de *a* á *b*, camina el coche con una velocidad determinada, parecerá que la gota ha seguido la dirección *a'* *b*, y veremos que la lluvia cae oblicuamente en la apariencia, siendo tanto más considerable la oblicuidad, cuanto mayor sea la velocidad del tren.

Un observador que mirase la estrella *E* desde la estación inmóvil *T*, vería el punto luminoso en la dirección real del curso seguido por los rayos de luz que emanan á cada instante, es decir, en la dirección *T E*; pero las cosas pasan de otro modo, si el observador se mueve en la dirección de la tangente *T A* á la órbita de la Tierra. Este movimiento se combina con el de las moléculas luminosas y el resultado es el mismo que si el observador permaneciese inmóvil y el rayo de luz estuviese animado de un movimiento *T A'* igual y contrario al de la Tierra. Para averiguar la dirección en que se ve la estrella, es preciso, según las reglas de la mecánica, construir un paralelogramo *T C B A'*, cuyos lados *T C* y *T A'* se encuentran en la relación de 10.000 y 1, es decir, de las velocidades de la luz y de la Tierra; la diagonal *B T e* indicará la dirección del lugar aparente de la estrella, y el ángulo *E T e* será el ángulo de aberración.

El efecto uranográfico de la aberración consiste en desfigurar el aspecto del cielo, haciendo que todas las estrellas se agolpen, digámoslo así, en la dirección de un punto de él, que es el punto evanescente de todas las líneas paralelas á aquélla, en que por el momento se verifica el movimiento de la Tierra. Y como ésta se mueve alrededor del Sol en el plano de la eclíptica, aquel punto debe caer en dicho plano con un adelanto de 90° en longitud respecto de la Tierra, ó igual atraso respecto del Sol, y por de contado variar continuamente de posición, describiendo la circunferencia de la eclíptica en un año, y como hemos demostrado, el efecto en cada estrella de por sí será hacerle describir aparentemente en el cielo una pequeña elipse, cuyo centro corresponde al punto en que se veía la estrella, si la Tierra estuviese en reposo.

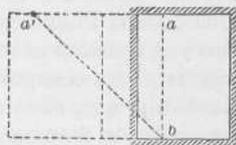


Fig. 141. — Desviación aparente de las gotas de lluvia.

Tenemos todavía en nuestras bibliotecas un libro que durante catorce siglos fué una especie de Biblia astronómica, puesto que nada se le agregaba, ni se discutía ninguna de sus proposiciones. Nos referimos al *Almagesto* de Ptolemeo, compuesto á mediados del segundo siglo de nuestra era, y todo cuanto hemos llegado á saber acerca de la astronomía de los antiguos, lo debemos á este libro en más de un concepto estimable. Ciertamente es que han llegado hasta nosotros varios fragmentos de antiguos autores y que en casi todos los escritos de los poetas y filósofos de Grecia, y aun de Roma, se leen alusiones más ó menos vagas á los fenómenos celestes, y siempre que nos ha parecido oportuno, las hemos mencionado en nuestro trabajo; pero la obra de Ptolemeo es el único compendio que poseemos de la ciencia astronómica de lo pasado. Y aunque su sistema es erróneo en muchos y muy importantes puntos, sin embargo, representa los caracteres más notables de los movimientos aparentes de los astros con completa exactitud.

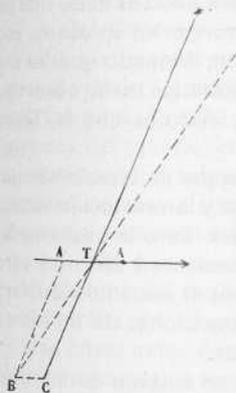


Fig. 142. — Teoría de la aberración

La doctrina fundamental del sistema ptolemaico consiste en suponer que los cielos tienen una forma esférica y que todos los movimientos se efectúan en círculos ó esferas; que la Tierra es esférica asimismo y se halla situada en el centro de los cielos ó esfera celeste, donde permanece fija, y que su magnitud es la de un punto, en comparación con la esfera de las estrellas. Trataremos de presentar las ideas de Ptolemeo del modo más claro posible, en su orden natural, y mencionaremos también las pruebas en que fundaba sus proposiciones.

1.º *Los cuerpos celestes se mueven en círculos.* Aquí se refiere principalmente Ptolemeo al movimiento diurno, por el cual cada uno de los cuerpos celestes se ve en la apariencia arrastrado alrededor de la Tierra, ó más bien, alrededor del polo de los cielos, en un círculo diario. Mas todos los astrónomos de la antigüedad y de la Edad media, hasta la época de Keplero, aceptaban la idea de que, siendo el círculo la figura plana más perfecta, todos los movimientos celestes

deben efectuarse en círculos; y como se notó que los movimientos no eran nunca uniformes, supusieron que tales círculos no eran concéntricos á la Tierra. Cuando no bastaba un solo círculo para explicar el movimiento, introducían una combinación de movimientos circulares.

2.º *La Tierra es una esfera.* Que la Tierra es redonda de Este á Oeste, lo demostraba Ptolemeo por el hecho de que el Sol, la Luna y las estrellas no salen y se ponen á la vez para todos los habitantes de la Tierra. Por las comparaciones de los tiempos en que los eclipses de Luna se ven en diferentes países, se dedujo que, mientras más al Oeste se encuentra el observador, más temprano se verifica el fenómeno después del ocaso del Sol. Como el tiempo es el mismo en todas partes, claro está que el Sol se pone más tarde, mientras más nos alejamos en dirección del Oeste. Además, si la Tierra no fuera redonda de Norte á Sur, una estrella que pasara por el meridiano en el horizonte del Norte ó del Sur, siempre permanecería en el mismo punto por mucho que el viajero caminase hacia el Sur ó hacia el Norte. Esto demuestra que el horizonte mismo cambia de dirección según camine el observador. Finalmente, en cualquier sentido en que nos aproximemos á un objeto elevado viniendo del mar, vemos que su base siempre queda oculta por la curvatura del agua, á menos de que nos acerquemos mucho á él.

3.º *La Tierra es el centro de la esfera celeste.* Si la Tierra fuese separada de su centro, se notarían varias irregularidades en el movimiento diurno aparente de la esfera celeste y parecería que las estrellas se movían con más rapidez en la región en donde la Tierra se encontrase. Si se transportase hacia el Este, nos encontraríamos más cerca de los cuerpos celestes en su orto que en su ocaso, moviéndose también con más rapidez en la primera situación, de modo que las mañanas serían más cortas que las tardes. Y como tales anomalías no se observan, pues el movimiento diurno es perfectamente uniforme, claro es que la Tierra debe encontrarse en el centro de movimiento.

4.º *La Tierra carece de movimiento de traslación.* Porque de tenerlo se apartaría del centro hacia uno de los lados de la esfera celeste y la revolución diurna de las estrellas dejaría de ser uniforme en todas sus partes. Pero la uniformidad de movimiento que acabamos de describir, y que se observa un año tras otro, nos obliga á aceptar que la Tierra conserva su posición en el centro de la esfera.

No deja de presentar interés el análisis de estas proposiciones de Ptolemeo, para averiguar lo que contienen de falsas y de verdaderas.

La primera proposición, de que los cuerpos celestes se mueven en círculos, ó expresado en sentido más literal, con movimiento esférico, es cierta en cuanto concierne al movimiento diurno aparente. Lo que Ptolemeo ignoraba era que este movimiento no es más que aparente y que lo origina la rotación de la Tierra sobre su eje.

La segunda proposición es exacta, y las pruebas aducidas por Ptolemeo en favor de la redondez de la Tierra las hemos presentado en otro lugar de esta obra, esto es, que al cabo de diez y ocho siglos, todavía hay que mencionarlas en un tratado de astronomía. Más curiosa, sin embargo, es la mezcla de verdad y de error que encierran las otras dos proposiciones, relativas á la inmovilidad de la Tierra; y no podemos calificarlas de falsas en absoluto, porque en cierto sen-

tido, esto es, en el único sentido en que puede aceptarse que haya una esfera celeste, la Tierra permanece en su centro. Lo que Ptolemeo no sabía es que esta esfera no tiene existencia real y que el espectador la lleva consigo adondequiera que se transporte. Su demostración de que el centro de revolución de la esfera es la Tierra, puede hasta cierto punto aceptarse como exacta, pues lo que realmente prueba es que nuestro globo gira sobre su propio eje.

La gloria de ser el primero que demostrase al mundo la verdadera teoría de los movimientos celestes, pertenece al inmortal Copérnico; es verdad que tenemos algún motivo para creer que Pitágoras enseñaba que el Sol, y no la Tierra, era el centro del movimiento, y que, por lo tanto, fué el primero en resolver el gran problema; pero no profesó su doctrina en público, y las vagas relaciones de su enseñanza privada sobre este punto, que han llegado hasta nosotros, se encuentran tan enlazadas con las especulaciones que los filósofos griegos sostenían acerca de los fines de la naturaleza, que es difícil decidir si Pitágoras llegó, en efecto, á averiguar la verdad del problema. Es indudable que ningún astrónomo moderno admitiría como exacta la explicación de un fenómeno cualquiera, si no le daban pruebas más convincentes que las que, según es de presumir, podía ofrecer Pitágoras á sus discípulos.

El gran mérito de Copérnico consiste en haber adivinado la verdad y en consagrar la mayor parte de su vida á buscar pruebas para apoyarla, hasta tal punto que en último extremo se imponía de un modo inevitable; pocos libros hay, de los que pueda decirse que encierran la vida de un hombre, más importantes que su gran obra *De Revolutionibus Orbium Caelestium*.

Nació Copérnico en 1473, diez y nueve años antes del descubrimiento de América, cursando sus estudios en la Universidad de Cracovia; abrazó el Estado eclesiástico, permitiéndole su posición dedicarse por completo á sus aficiones favoritas. Se dice que ya en 1507 había concebido su teoría del verdadero sistema del mundo, pero durante muchos años sólo se ocupó de comprobar las observaciones necesarias para perfeccionar su sistema, consultando frecuentemente con sus amigos, y dándoles cuenta de sus opiniones, sin atreverse á publicarlas, temiendo á las preocupaciones del vulgo. En 1540, Retico, uno de sus amigos, dió á luz un opúsculo, escrito con arreglo á algunas de las ideas de Copérnico, que fué recibido de un modo favorable, por lo cual consintió éste en la publicación de su grande obra. El primer ejemplar fué puesto en sus manos pocas horas antes de su muerte, que tuvo lugar en el mes de mayo de 1543.

Los principios fundamentales del sistema de Copérnico se encuentran comprendidos en dos proposiciones distintas, que han de ser probadas separadamente, pudiendo ser la una verdadera y la otra falsa, y viceversa, pues como decimos, son en un todo independientes.

1.º La revolución diurna de los cielos es tan sólo aparente y causada por el movimiento diurno de la Tierra sobre un eje que pasa por su centro.

2.º La Tierra es uno de los planetas, y todos giran alrededor del Sol, como centro del movimiento; el verdadero centro de los movimientos celestes no es, por lo tanto, la Tierra, sino el Sol. Por esto se llama también este sistema teoría heliocéntrica.

Copérnico principió por probar la primera proposición, explicando cómo

puede resultar un movimiento aparente del que en realidad tenga una persona; demostró también que, siendo los cielos, en proporción con la Tierra, de dimensiones enormes, si nuestro globo permaneciera fijo debieran girar los astros con una velocidad infinita; y que era más natural admitir que la Tierra girase, toda vez que hay que estimarla como un punto imperceptible del Universo, que no el Universo mismo.

La obra de Copérnico hizo avanzar á la astronomía, en poco tiempo, de un modo prodigioso, á pesar de estar basada en muchos puntos, en ciertas doctrinas de Ptolemeo y de los antiguos filósofos, puesto que con ellos admitía que tanto los cielos como la Tierra eran esféricos, y que todos los movimientos celestes eran circulares ó compuestos de círculos. Mas con todo eso, mayor aún hubiera sido el adelanto de la ciencia, con un conocimiento más perfecto de las leyes de los movimientos celestes y con observaciones más exactas de las posiciones de los astros. En esta última dirección se inició primeramente el progreso, gracias al genio y á la fuerza de voluntad de Tycho Brahe.

Nació este astrónomo en 1546, tres años después de la muerte de Copérnico; la observación de un eclipse de Sol ocurrido el 21 de agosto de 1560 le hizo aficionarse á la astronomía, asombrado de que tal fenómeno pudiera anunciarse, consagrándose por completo al estudio de esta ciencia admirable. En 1576 fundó el rey de Dinamarca el famoso observatorio de Uraniborg, en el que Tycho, por espacio de veinte años consecutivos, estudió las posiciones de los cuerpos celestes, empleando los instrumentos más perfectos que podían construirse en aquella época. Por desgracia, aún no se había inventado el anteojo, y este astrónomo hizo todas sus observaciones á la simple vista, de modo que su importancia y celebridad se deben, principalmente, á que suministraron á Keplero los medios de descubrir sus inmortales leyes de los movimientos planetarios.

Como astrónomo teórico fué Tycho poco afortunado; rechazó el sistema de Copérnico apoyándose en una razón que en su tiempo no dejaba de tener alguna fuerza; esto es, en la increíble distancia á que había que suponer situadas las estrellas fijas, para que pudiera ser aceptable el movimiento de traslación de la Tierra. Según el sistema del canónigo de Thorn, los planetas superiores parecen describir una revolución anual en un epiciclo, en consecuencia del movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol; las estrellas fijas, que están situadas fuera del sistema solar, debieran presentar el mismo movimiento si la hipótesis fuese verdadera, movimiento que no revelaban ni las observaciones de Tycho, ni las de sus predecesores.

A esto hubieran debido replicar los defensores de Copérnico que las estrellas fijas están demasiado lejos para que fuese posible percibir estos movimientos; los astrónomos de aquella época admitían como axiomático que la naturaleza no podía dilapidar el espacio hasta el punto de que entre la órbita de Saturno, último planeta conocido entonces, y las estrellas fijas hubiera una distancia cien veces mayor que la de este planeta al Sol. Pero, al mismo tiempo, las pruebas que aducía Copérnico en favor de la teoría heliocéntrica eran demasiado poderosas para que fuese posible destruirlas; Tycho, por lo tanto, adoptó un sistema intermedio entre el de Ptolemeo y el de Copérnico. Supuso que los cinco planetas giraban alrededor del Sol, como centro de sus movimientos; que el Sol

también giraba en una órbita anua en torno de la Tierra, y que ésta, inmóvil, era el centro del universo.

Tal vez fué una circunstancia favorable para la admisión del sistema de Copérnico que los instrumentos astronómicos de Tycho Brahe ofreciesen una inferioridad tan marcada con los de nuestro siglo, pues si le hubieran permitido averiguar con toda exactitud que las estrellas no presentan en absoluto paralaje de ninguna especie, y que, por lo tanto, de ser cierto el movimiento de traslación de la Tierra, debieran encontrarse, cuando menos, á una distancia 200.000 veces superior á la del Sol, es bien seguro que los astrónomos hubieran dado la preferencia al sistema ptolemaico.

Tycho no adujo en favor de su hipótesis ninguna clase de pruebas, y es difi-

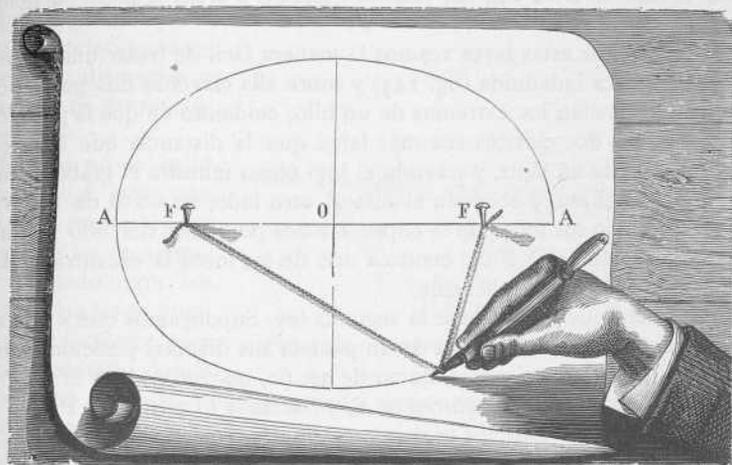


Fig. 143. - Método para trazar una elipse

cil averiguar cómo hubiera podido destruir las numerosas objeciones que contra su absurdo sistema pueden formularse.

Nació Keplero en Wurtemberg el año 1547; durante algún tiempo ayudó á Tycho Brahe en sus cálculos, pero tenía demasiada penetración para adoptar el absurdo sistema de su maestro; comprendiendo la verdad de la teoría de Copérnico, trató de determinar por sí mismo las leyes de los movimientos de los planetas alrededor del Sol.

Las observaciones de Tycho, mucho más exactas que las de sus predecesores, demostraron á Keplero la insuficiencia de esta teoría para representar los verdaderos movimientos de los planetas en torno del Sol; el cuerpo más favorable para esta investigación era Marte, por estar muy cerca de la Tierra, presentando al propio tiempo una órbita de gran excentricidad. El único medio de que podía valerse Keplero para sus investigaciones consistía en formular varias hipótesis respecto de la órbita en que se movía el planeta, y por estas hipótesis calcular sus posiciones y movimientos, según se viera desde la Tierra, tratando de comparar las posiciones calculadas con las observadas, para averiguar si con-

cordaban ó no. Como Keplero desconocía el uso de los logaritmos, inventados poco después, que de tal manera abrevian los cálculos, cada investigación de una de sus hipótesis costaba al ilustre astrónomo un trabajo inmenso.

Por fin averiguó que la forma de la órbita no era circular, sino elíptica, y trató de investigar qué efecto produciría el Sol colocado en uno de los focos de la elipse; en este caso, el movimiento del planeta satisfacía á la hipótesis, si su velocidad se consideraba variable y mayor, cuanto menos distase del Sol. De este modo, y paso á paso, llegó á formular sus tres leyes inmortales sobre los movimientos de los planetas, y que dicen así:

- 1.^a La órbita de cada planeta es una elipse y el Sol ocupa uno de los focos.
- 2.^a A medida que el planeta se mueve alrededor del Sol, su radio vector ó línea que lo une al astro central, recorre espacios ó áreas iguales en tiempos iguales.

Antes de explicar estas leyes veamos la manera fácil de trazar una elipse.

Tírese una recta indefinida (fig. 143) y sobre ella clávense dos puntas ó alfileres á los que se atan los extremos de un hilo, cuidando de que la parte comprendida entre los dos clavitos sea más larga que la distancia que haya entre éstos. Por medio de un lápiz, y tesando el hilo como muestra el grabado, se traza la mitad de la elipse, y echando el hilo al otro lado, se acaba de cerrar; los dos puntos F F son los focos de la elipse, las dos porciones del hilo los radios vectores, y la distancia O F del centro á uno de los focos la excentricidad. La primera ley apenas exige explicación.

Veamos ahora qué quiere decir la segunda ley. Supongamos que á contar de P (fig. 144) marcamos en la órbita de un planeta sus diversas posiciones en varios intervalos de tiempo iguales, como de 30, 60, 90 ó más días. Si de P y P₁ tiramos dos líneas que se encuentren en S, y hacemos lo mismo de P₂ y P₃, y de P₄ y P₅, resultarán tres espacios triangulares iguales, recorridos por el radio vector en intervalos de tiempo idénticos.

La antigua teoría de que los movimientos de los cuerpos celestes debían de ser circulares y uniformes, ó cuando menos, compuestos de elementos circulares y constantes, quedó destruída, sustituyendo la elipse al círculo, y al movimiento uniforme el movimiento variable.

Otra ley planetaria, no menos importante que las dos anteriores, fué poco después descubierta por Keplero. Sabía Copérnico que mientras mayor era la distancia de un planeta, más tiempo necesitaba para efectuar su revolución alrededor del Sol, no sólo porque su órbita fuese de desarrollo más considerable, sino también por ser su movimiento real más lento. Por ejemplo, Saturno está unas 9 ¹/₂ veces más distante que la Tierra, y si caminase con la misma velocidad que nuestro globo, efectuaría su revolución en nueve años y medio, y sin embargo, invierte en ella de 29 á 30 años. Copérnico no se fijó jamás en las relaciones que existen entre las distancias de los planetas y sus períodos de revolución; pero Keplero, como decimos, descubrió después de largos cálculos su tercera ley, que dice:

- 3.^a El cuadrado del tiempo de revolución de cada planeta es proporcional al cubo de su distancia media al Sol.

Puede decirse que, en cuanto concierne á la determinación de las leyes de

los movimientos planetarios deducida de las observaciones, no dejó Kepler nada por hacer; dada la posición y magnitud de la órbita elíptica en que se mueve un planeta y el punto de esta órbita en que se encuentra en determinado momento, es posible calcular la posición que ocupará en cualquiera otra fecha. No es esto, empero, rigurosamente exacto, y si Kepler hubiera tenido á su disposición observaciones tan precisas como las que se efectúan en nuestra época, pronto habría echado de ver que sus leyes no representaban con toda fidelidad los movimientos de los planetas; no sólo hubiera observado que la órbita elíptica variaba de posición de un siglo á otro, sino también que los planetas se apartaban de ella, primero en una dirección y luego en la opuesta, siendo asimismo desiguales las áreas descritas por el radio vector.

¿Qué razón hay para que los planetas se muevan en órbitas elípticas? ¿Por qué describe el radio vector áreas proporcionales á los tiempos? ¿Por qué ha de existir esta relación exacta entre sus distancias y los tiempos de sus revoluciones?

Mientras no se halló la respuesta á estas preguntas, fué imposible decir por qué no se ajustaban con todo rigor los planetas á las leyes enunciadas por Kepler; para ello era necesario descubrir las leyes generales del movimiento, desconocidas por completo en tiempo del grande astrónomo.

Al ilustre contemporáneo de Kepler, á Galileo, se debe el primer paso importante dado en el descubrimiento de estas leyes. Siguióle Descartes, gran matemático y mecánico; este filósofo fué el primero que trató de reducir á una ley general los movimientos de los cuerpos celestes en su famosa teoría de los vórtices, que por algún tiempo disputó el campo á la hipótesis de la gravitación universal de Newton.

El gran matemático Huyghens descubrió posteriormente las leyes de la fuerza centrífuga, y de haberlas aplicado al sistema solar, hubiese averiguado que los planetas están retenidos en sus órbitas por una fuerza que varía en razón inversa del cuadrado de su distancia al Sol; de aquí á la teoría de la gravitación apenas hay un paso, pero el gran descubrimiento necesitaba un espíritu superior para manifestarse, y este fué el del inmortal Newton.

Aunque son muchos los que se admiran del gran descubrimiento de Newton de la gravitación universal, pocos llegan á comprender su verdadera significación. En general se considera la gravitación como una fuerza misteriosa que sólo ejerce su influjo entre los cuerpos celestes y que fué descubierta por el eminente matemático inglés. La gravitación es un fenómeno que, en esfera más reducida, conoce todo el mundo, pues se reduce sencillamente á la fuerza que hace caer todos los cuerpos hacia el suelo, ó mejor dicho, hacia el centro de la

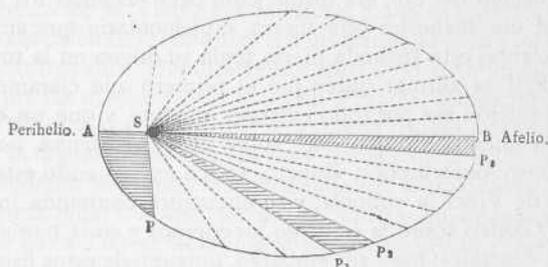


Fig. 144. — Demostración de la segunda ley de Kepler

Tierra; todo el que haya visto caer una piedra ó haya tratado de suspender un peso cualquiera, tiene conocimiento de la existencia de la gravitación. Newton lo que hizo fué demostrar que los movimientos de los planetas se debían á una fuerza universal, que lo mismo obra sobre la manzana desprendida del árbol, que sobre los gigantes mundos del espacio, despojando así de su carácter maravilloso el mecanismo de los cielos. El perpetuo movimiento de los planetas en círculos ó elipses era para sus antecesores fenómeno en un todo diferente de los movimientos que se observaban en la superficie de la Tierra, sin que pudiesen sospechar que se hallaban regidos por unas mismas leyes.

Hasta la época de Galileo se creía generalmente que era necesaria la acción de una fuerza continua para que un cuerpo conservase su movimiento; que el mismo Keplero participaba de esta idea, se demuestra por el hecho de que aceptaba ó concebía que una fuerza cuya acción se ejerciese únicamente en la dirección del Sol, era insuficiente para sustentar los movimientos planetarios, y que era menester otra fuerza suplementaria que empujase los planetas hacia adelante; esta segunda fuerza tenía su origen en la rotación del Sol sobre su eje. Difícil es afirmar quién fué el primero que claramente comprendió que esta suposición era por todo extremo inexacta, y que un cuerpo, puesto una vez en movimiento, sin que obre sobre él fuerza alguna, jamás vuelve á su estado de reposo; poco á poco, empero, se fué extendiendo esta idea, puesto que Leonardo de Vinci la conocía, y se encuentra contenida implícitamente en las leyes de Galileo sobre la caída de los cuerpos y en la teoría de Huyghens de las fuerzas centrales; mas, sin embargo, ninguno de estos físicos parece haberla expuesto con completa claridad y precisión. A Newton, pues, se debe atribuir su verdadera demostración, que enunció en las tres leyes siguientes sobre el movimiento, bases de su descubrimiento inmortal.

Primera ley. Un cuerpo en movimiento, que no se halle sujeto á fuerza alguna, caminará eternamente en línea recta y con velocidad uniforme.

Segunda ley. Si sobre un cuerpo en movimiento obra una fuerza cualquiera, su desviación de la línea recta ó del movimiento definido en la primera ley, tendrá lugar en la dirección de la fuerza secundaria y será proporcional á ella.

Tercera ley. La potencia y la resistencia son iguales y de direcciones opuestas, esto es, que cuando un cuerpo cualquiera ejerce una fuerza sobre otro, el segundo produce sobre el primero un efecto igual, pero en dirección contraria.

La primera de estas leyes es la fundamental; si por tantos siglos erraron los hombres sobre este punto, y si tanto se tardó en descubrirla, se debe á que no hay en la superficie de la Tierra cuerpo alguno sobre el cual no tenga efecto tal ó cual fuerza, y, por lo tanto, no es posible hallar un ejemplo de un cuerpo que se mueva continuamente en línea recta. Cualquier cuerpo que se hubiese elegido para efectuar el experimento, se encontraría sujeto, cuando menos, á la acción de la gravedad terrestre, es decir, á su propio peso, y por consecuencia pronto hubiera vuelto á caer en la superficie del suelo. Otras fuerzas contrarias al movimiento, y que también hay que tener en cuenta, son el rozamiento y la resistencia del aire.

Ahora nos hallamos en aptitud de comprender de qué modo ensanchó Newton sus teorías de lo que vió en la Tierra, hasta llegar al descubrimiento del

principio inmortal á que su nombre va unido. Sabemos que existe una fuerza que constantemente obra en la Tierra, por la cual todos los cuerpos tratan de dirigirse hacia su centro; esta fuerza se extiende sin disminución sensible hasta la cresta de las más empinadas montañas. Pero ¿cuáles serán sus límites? ¿Por qué no se extenderá hasta la Luna? Si así es, tratará nuestro satélite de caer hacia el centro de la Tierra, del propio modo que la piedra abandonada en el aire. Y en tal caso, ¿por qué no ha de ser esta sencilla fuerza de gravedad la que mantiene á la Luna en su órbita y le impide que se aparte de ella caminando en línea recta en virtud de la primera ley?

Para contestar á esta pregunta era necesario calcular la fuerza que se necesitaba para mantener á la Luna en su órbita, comparándola, al propio tiempo, con la gravedad; en aquella fecha sabían los astrónomos que la distancia de la Luna á la Tierra era igual á unos sesenta semidiámetros terrestres. Al principio supuso Newton que el diámetro de la Tierra era inferior á 7.000 millas (2.816 leguas), y por consecuencia sus cálculos le condujeron á un resultado inexacto; en esta época tenía Newton veintitrés años. Durante veinte años dejó abandonados sus trabajos; mas al saber que las medidas de Picard en Francia demostraban que la Tierra era una sexta parte mayor de lo que se suponía, volvió á ocuparse del asunto. Sus cálculos le demostraron que las desviaciones de la órbita de la Luna respecto del movimiento rectilíneo eran comparables á una caída de 4^m,80 en un minuto, distancia igual á la que recorre un cuerpo cualquiera en un segundo, en la superficie de la Tierra. Siendo la distancia recorrida proporcional al cuadrado de los tiempos, se deduce que la fuerza de gravedad en la superficie de nuestro globo es 3.600 veces mayor que la fuerza que retiene y sujeta á la Luna en su órbita. Este número es el cuadrado de 60, que expresa cuántas veces más que nosotros dista la Luna del centro de la Tierra. Luego la fuerza que mantiene á la Luna en su órbita es la misma que produce la caída de una piedra, con la diferencia de hallarse disminuída en razón inversa del cuadrado de la distancia al centro de la Tierra.

Los planetas se mueven en torno del Sol del propio modo que la Luna gira alrededor de la Tierra, y deben, por lo tanto, poseer cierta tendencia á caer en aquel luminar; la fuerza que produce este fenómeno tiene que ser, precisamente, la gravitación misma del Sol. Un cálculo muy sencillo, fundado en la tercera ley de Képlero, demuestra que la fuerza con que cada planeta gravita hacia el Sol es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia media del planeta.

Debemos ahora completar nuestro estudio investigando qué clase de órbita ha de describir un planeta, hallándose solicitado por una fuerza que se dirige hacia el centro del Sol, en proporción inversa al cuadrado de su distancia. Una demostración muy sencilla prueba que, independientemente de las leyes de la fuerza, si ésta se dirige hacia el Sol, el radio vector del planeta recorrerá áreas iguales en tiempos iguales. Y, por el contrario, si la fuerza obra en cualquiera otro sentido, no recorre el radio vector áreas iguales en tiempos iguales, de donde se deduce, por la segunda ley de Keplero, que la fuerza obra hacia el centro del Sol.

En la época de Newton eran muy pocos los matemáticos que estaban en condiciones de poder acometer el problema de determinar la forma de la órbita

descrita por un planeta. El ilustre astrónomo inglés probó, por medio de una demostración rigurosa, que la órbita podía ser elíptica, parabólica ó hiperbólica, según las circunstancias, ocupando el Sol uno de los focos; lo que, tratándose de una elipse, era la primera ley de Keplero. De esta suerte desaparecía toda clase de misterio en los movimientos celestes, demostrándose que los planetas eran cuerpos pesados que circulaban en virtud de las mismas leyes que rigen á nuestra vista los movimientos de los objetos situados en la superficie terrestre. La sencilla ley de la gravitación hacia el Sol comprendía las tres leyes de Keplero, según una fuerza que obraba en razón inversa del cuadrado de la distancia.

El principio de la gravitación explica de un modo concluyente la tercera ley de Keplero. Si tomamos los cubos de las distancias medias de varios planetas y los dividimos por el cuadrado de los tiempos de revolución, el cociente será uno mismo para cada planeta del sistema. Si del propio modo tratamos los satélites de Júpiter, cubicando la distancia de cada uno de ellos al cuerpo primario, y dividimos el cubo por el cuadrado del tiempo de revolución, el cociente será igual para cada satélite, pero distinto del que corresponde á los planetas. Este cociente, en una palabra, es proporcional á la masa ó peso del cuerpo céntrico. En el caso de los planetas es 1.050 veces mayor que cuando se trata de los satélites de Júpiter, lo cual demuestra que el Sol pesa 1.050 veces más que el planeta Júpiter. Así, pues, nos encontramos con un método muy conveniente para averiguar la masa ó peso de los planetas que estén acompañados de satélites, midiendo las órbitas de estos últimos y determinando los tiempos de sus revoluciones, si bien el peso no se expresa en toneladas, sino en fracciones de la masa solar.

No basta, para explicar la teoría de Newton, decir sencillamente que el Sol, la Tierra y los planetas se atraen unos á otros; si dividimos la materia tan finamente como nos sea posible, veremos que siempre conserva su poder de atracción, lo cual se debe á que tiene peso; y puesto que la Tierra atrae las partículas más tenues que podemos imaginar, éstas, en virtud de la tercera ley del movimiento, deben atraer también á nuestro globo con igual fuerza; de donde se deduce que la fuerza de atracción reside, no en la Tierra como un todo, sino en cada partícula individual de la materia de que se compone, esto es, que la atracción de la Tierra sobre una piedra es simplemente la suma total de las atracciones entre la piedra y todas las partículas que componen el globo terrestre.

No se conoce límite alguno á la fuerza de gravitación, que se extiende á todas las distancias imaginables, al menos en el mundo solar; la atracción del Sol sobre los planetas más lejanos, como Urano y Neptuno, demuestra que la ley de Newton no sufre modificación alguna sensible; pero debido á la rápida disminución que experimenta á causa de los cuadrados inversos, cuando se trata de distancias tan enormes como las que nos separan de las estrellas fijas, llega á ser tan pequeña aun la gravitación del Sol, que sería necesario un período de un millón de años para producir un efecto apreciable. Hemos aquí ahora en disposición de formular, para concluir este párrafo, la gran ley de la gravitación universal:

Todos los cuerpos del universo, grandes ó pequeños, se atraen mutuamente con una fuerza que está en razón directa de sus masas é inversa del cuadrado de la distancia que medie entre ellos.

El método más famoso que se ha empleado para la determinación de la paralaje del Sol, ha sido el de los pasos de Venus por delante del disco del gran lumínar, método que permite averiguar la diferencia de paralaje de ambos cuerpos. Las tablas astronómicas nos enseñan que el fenómeno de los pasos se verifica según un ciclo periódico, cuatro veces cada 243 años; este ciclo se compone de cuatro intervalos, cuyas longitudes son, en orden regular, 105 $\frac{1}{2}$ años, 8 años, 121 $\frac{1}{2}$ años, 8 años, después de lo cual se repiten los mismos intervalos. Las fechas en que el fenómeno se ha verificado y ha de tener lugar en un período de ocho siglos son las siguientes:

1518.	2 de junio	1882.	6 de diciembre
1526.	1 de »	2004.	8 de junio
1631.	7 de diciembre	2012.	6 de »
1639.	4 de »	2117.	11 de diciembre
1761.	5 de junio	2125.	8 de »
1769.	3 de »	2247.	11 de junio
1874.	9 de diciembre	2255.	9 de »

Tan sólo en época reciente ha podido predecirse y observarse el fenómeno, pues ni en 1518 ni 1526 parece que á ningún astrónomo se le ocurrió el partido que era dable sacar de un paso de Venus por el disco del Sol. En el siglo siguiente nació Keplero, quien de tal manera perfeccionó las tablas planetarias, que llegó á predecir un paso para el 6 de diciembre de 1631, si bien éste comenzaba después de la puesta del Sol en Europa y concluía antes de su orto al día siguiente, por manera que de nadie fué percibido. Desgraciadamente, distaban mucho las tablas de ofrecer una completa exactitud, así que el mismo astrónomo no pudo predecir el siguiente paso de 8 años después, anunciando Keplero que el fenómeno no se repetiría hasta 1761. El paso de 1639, por lo tanto, como todos los anteriores, hubiera sido inútil para los progresos de la ciencia, sin el talento y entusiasmo de Horrox, quien, como en otro lugar hemos referido, lo observó con gran dificultad.

Durante el intervalo transcurrido entre este paso y el siguiente de 1761, progresó rápidamente la astronomía, en cuanto á la exactitud de sus métodos, gracias al descubrimiento de la ley de la gravitación y á la aplicación del anteojo á las medidas celestes. El descubrimiento de Halley, de que la observación del paso de Venus desde distintos puntos de la Tierra podía servir para determinar la distancia del Sol, prestó al asunto mayor interés.

Sin entrar aquí en los pormenores del cálculo de este problema, que son sumamente complicados, por razón del gran número de circunstancias á que es preciso atender, explicaremos su principio, que es muy sencillo y obvio, en abstracto. En la fig. 145, aunque con proporciones exageradas, se representa el Sol, Venus y la Tierra; supongamos que A y B sean dos espectadores situados en los extremos opuestos del diámetro terrestre, perpendicular á la eclíptica; y para evitar complicaciones, dejaremos de llevar en cuenta la rotación de la Tierra, suponiendo que A y B permanecen en la misma situación durante todo el fenómeno. Según esto, en cualquier momento en que el espectador A ve el centro de Venus proyectado en V_2 sobre el disco del Sol, el de B lo ve

rá proyectado en V_1 . Si, pues, uno de los espectadores pudiera trasladarse en un instante desde A á B, vería á Venus variar repentinamente de posición sobre el disco del Sol desde V_2 á V_1 ; y si tuviese algún medio de fijar con exactitud el lugar del planeta sobre el disco del Sol, ó por medidas micrométricas entre sus respectivos márgenes, ó de cualquier otro modo, podría determinar la medida angular de $V_1 V_2$ cual aparece desde la Tierra. Y como por ser A V_2 y B V_1 líneas rectas, son iguales los ángulos opuestos que forman en Venus, tendremos que $V_1 V_2$ será á A B, como la distancia de Venus al Sol es á la distancia del planeta á la Tierra, ó como 68 á 27, ó próximamente como $2 \frac{1}{2}$ á 1; por consiguiente $V_1 V_2$ ocupan sobre el disco del Sol un espacio que es igual á $1 \frac{1}{2}$ veces el diámetro de la Tierra, y su medida angular es igual, por la misma razón, á $2 \frac{1}{2}$ veces el diámetro aparente de la Tierra visto desde el Sol,

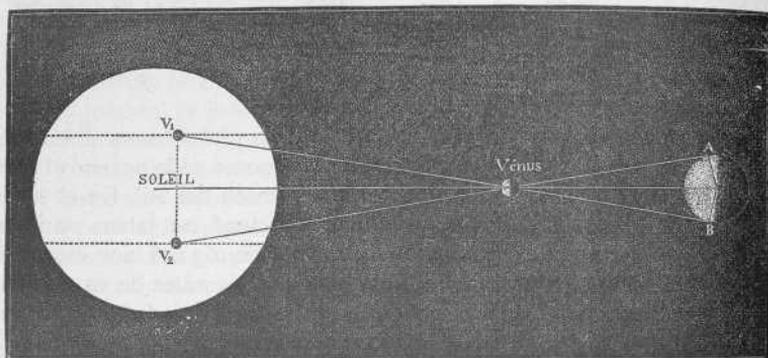


Fig. 145. — Determinación de la distancia del Sol por los pasos de Venus

ó lo que es lo mismo, á cinco veces la paralaje horizontal del Sol. Por tanto, cualquier error que pueda cometerse en la medición de $V_1 V_2$, sólo entrará por una quinta parte en el valor de la paralaje horizontal que de ella se deduzca.

Lo que hay, pues, que averiguar no es ni más ni menos, en realidad, que el ancho de la zona comprendida entre las líneas extremas que aparentemente describe Venus sobre el disco del Sol, desde que entra por uno de sus márgenes hasta que sale por el otro. Y así, todo el trabajo de los observadores en A y en B viene á reducirse á fijar, con el mayor esmero y exactitud asequibles, esta línea ó senda, es decir, el punto por donde entra en el disco solar, el punto por donde sale y el segmento que en él determina.

Ahora bien, uno de los modos más exactos (juntamente con las escrupulosas medidas micrométricas) de conseguir este objeto, es observando el intervalo de tiempo que dura todo el paso; porque conociéndose de hecho con la mayor puntualidad el movimiento angular relativo de Venus, por sus tablas, y siendo su curso aparente casi rectilíneo, dan estos intervalos una medida, extraordinariamente amplificada, del largo de las cuerdas de dichos segmentos; y como, por otra parte, se conoce también con gran exactitud el diámetro del Sol, puede averiguarse, por medio de una sencilla fórmula, el ancho de la zona que se bus-

ca. Para obtener correctamente estos intervalos, debe cada observador determinar los instantes del ingreso y del egreso del centro del planeta, para lo cual tiene que anotar: 1.º, el instante en que se hace la primera impresión ó mordedura sobre el margen del disco, que es el primer contacto externo; 2.º, el momento en que el planeta acaba de internarse, y se restablece la interrumpida redondez del

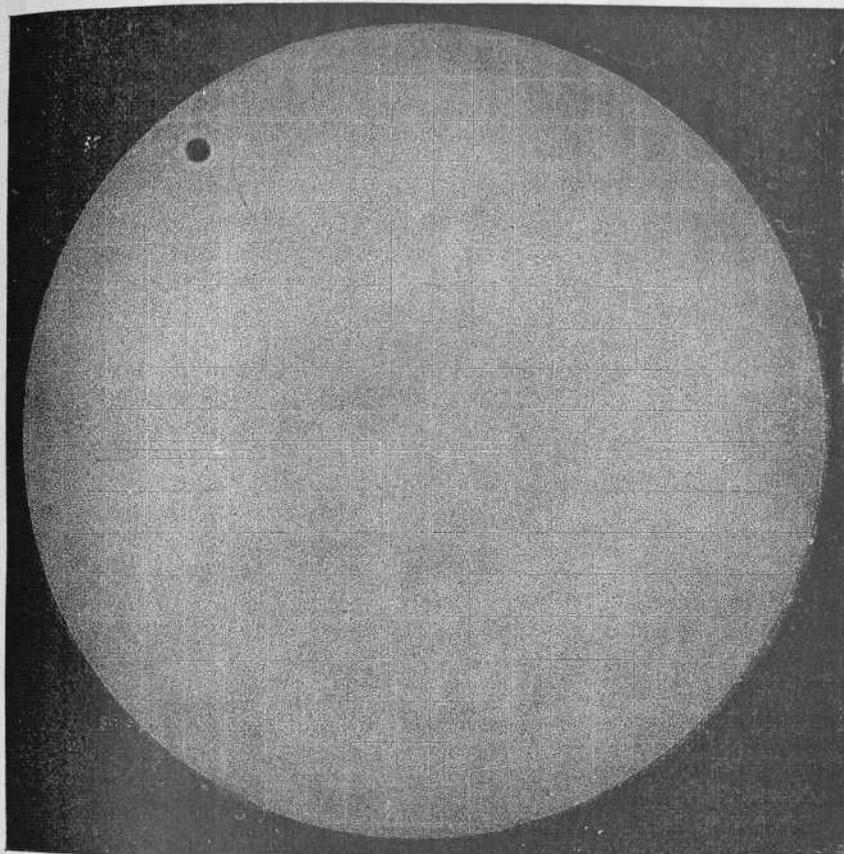


Fig. 146. - Paso de Venus de 1874, facsímile de una fotografía de Janssen

disco solar, que es el momento del primer contacto interno; y finalmente, tiene que hacer las mismas observaciones á la salida del planeta. El promedio de los contactos interno y externo da el instante del ingreso y del egreso del centro del planeta.

Las modificaciones que en este procedimiento obligan á introducir la rotación de la Tierra sobre su eje y la variedad de posiciones geográficas de los observadores, siempre distintas de las que aquí hemos supuesto, son semejantes en su principio á las que entran en el cálculo de un eclipse solar, ó de una

ocultación de estrella por la Luna, sin más diferencia que estar llevadas á mayor grado de escrupulosidad y delicadeza. Toda consideración sobre ellas nos alejaría de los límites de una obra como la presente; pero aun así, expuesta en globo, ofrece la materia un ejemplo admirable de cómo los elementos de la astronomía, por más diminutos que sean, pueden aparecer amplificados en sus efectos, y sometidos en punto mayor á la medición, ó substituída la medida del tiempo á la del espacio, llegando á determinarse con el grado de precisión adecuado al objeto que se pretende, con sólo aprovechar las oportunidades favorables, y sacar partido de la acertada combinación de las circunstancias.

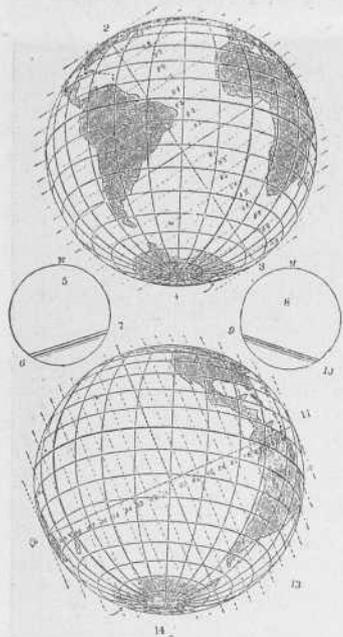


Fig. 147. — Paso de Venus por el disco del Sol el 6 de diciembre de 1882. Cuerda descrita por el planeta sobre el disco solar. — 1. Lado iluminado de la Tierra en el ingreso: 6 diciembre 2 h. — 2. Ingreso retrasado. — 3. Ingreso adelantado. — 4. Tierra Sabrina. — 5. Disco del Sol como se ve desde la Tierra. — 6. Ingreso. — 7. Salida. — 8. Disco del Sol invertido. — 9. Salida. — 10. Ingreso. — 11. Salida adelantada. — 12. Salida retrasada. — 13. Lado iluminado de la Tierra en la salida: 6 diciembre 8 h. — 14. Tierra Sabrina.

Varias, como en otro lugar dejamos apuntado, fueron las expediciones equipadas por distintos gobiernos para observar el paso de 1769; con liberalidad no menor, las naciones más cultas de Europa y América, en nuestros días mismos, esto es, en 1874 y 1882, enviaron de igual modo á los confines del mundo expediciones astronómicas para observar estos últimos pasos. El de 1874 lo observaron los rusos al Norte del lago Baikal en la Siberia; en ese clima y en diciembre, sólo los moscovitas podían desafiar los rigores de la estación. Lord Lindsay, opulento y entusiasta astrónomo, equipó á su costa una expedición particular que se estableció en la isla Mauricio; los observadores oficiales ingleses fueron á Egipto, Australia, China y el Japón; á este país y á la isla de San Pablo, peñasco volcánico del hemisferio austral, los franceses; los americanos observaron en Pekín, en el Japón, en Nueva Zelandia y otros puntos; los italianos en la India y los alemanes también se esparcieron por todos estos países tan remotos.

En este paso se hizo uso de varios métodos astronómicos; del de Halley que hemos explicado, del de Delisle y de la fotografía; este último y novísimo procedimiento no dió el buen resultado que de él se esperaba para las mediciones, pero sí para la física astronómica.

La figura 146 es una reproducción de una fotografía obtenida por Janssen durante el paso; en torno del círculo negro de Venus se percibe un anillo nebuloso que se proyectaba sobre el disco solar en el preciso momento de la inmersión, y que indica que el planeta está rodeado por una atmósfera en extremo densa.

El último paso ocurrió el 6 de diciembre de 1882; principió á 1^h 36^m de la tarde y concluyó á 7^h 33^m; su duración total fué de poco más de seis horas.

La figura 147 representa los dos hemisferios iluminados de la Tierra, el primero en el momento del ingreso de Venus y el segundo en el instante de su salida del disco solar. Los centros de ambos hemisferios indican los dos puntos de la Tierra, en los que, por tener el Sol en el cenit en el momento del ingreso y del egreso, es posible observar estos fenómenos á las horas calculadas para el centro de la Tierra. Las diversas líneas de puntos paralelas entre sí, indican los lugares en que el fenómeno se verifica con adelanto ó con atraso.

Otro tanto puede decirse respecto de los momentos del egreso, y en el segundo hemisferio se marca el adelanto y el atraso del fenómeno calculado para el centro de la Tierra.

El paso de que nos ocupamos fué visible en los Estados Unidos de la América del Norte, y en el Sur, en las regiones comprendidas entre la tierra de Sabine y la bahía Repulse, parajes estos últimos, á no dudar, de difícil acceso en el invierno, á causa de los hielos; pero estaciones muy adecuadas para la aplicación del método de Halley, ó sea de las diferencias de duración de los pasos.

En España era visible el principio del paso y el Sol se ponía con Venus en su disco; pero el estado del tiempo no permitió efectuar las observaciones sino en raras localidades y de un modo imperfecto. En general, los resultados fueron buenos, principalmente en Méjico, donde se establecieron los franceses, y en los Estados Unidos, en Argelia y Australia; se obtuvieron centenares de fotografías y de mediciones heliométricas; pero después de efectuados los cálculos y reducciones, se ha visto que la solución del problema casi no ha adelantado, porque el método en sí no es susceptible de mayor exactitud de la obtenida.

CAPITULO IV

GNOMÓNICA

Teoría y principios de los relojes de Sol ó cuadrantes solares. - Construcción y trazado de los cuadrantes solares

Es fácil de determinar la hora de un punto terrestre, cuya longitud sea conocida, por la observación del paso por el meridiano de una de las estrellas llamadas fundamentales; el momento de este paso, según llevamos explicado, indica el tiempo sidéreo, que sin mayor dificultad se transforma en tiempo solar. Los marinos y geógrafos se valen también de otros métodos; pero todos ellos exigen instrumentos especiales, que los antiguos desconocían, y que, aun hoy día, no se encuentran al alcance de la mayor parte de las gentes, que tienen necesidad de arreglar sus relojes de un modo exacto, ó al menos, con errores de poca monta.

Valfáanse con tal objeto los antiguos astrónomos de unos instrumentos fijos llamados *gnómones*, de una voz griega que significa *estilo recto ó regla recta*. En la actualidad se hace uso con más ventaja de los relojes de sol ó cuadrantes solares, cuyo origen se pierde en la noche de los tiempos, y que, así como los gnómones ó esciaterios, señalan la hora, por medio de las sombras proyectadas por un eje fijo, sobre un plano, al lado contrario del Sol.

Gnomónica es la ciencia que enseña á construir los instrumentos que sirven para averiguar la hora por medio del Sol ó de la Luna.

Exige la construcción de un cuadrante solar que primeramente se trace la meridiana del lugar en que se va á erigir el instrumento; esta línea, por decirlo así, forma parte esencial de todo gnomon. Principiemos, pues, por indicar los medios que sirven para el trazado de la meridiana.

Hemos visto que se da el nombre de meridiana al trazo ó proyección del meridiano sobre el horizonte, y que á mediodía verdadero, cuando el Sol alcanza su mayor altura, se encuentra su centro precisamente en el meridiano. De modo que, si en este instante se fija verticalmente una regla en el plano horizontal en que queremos trazar la meridiana, la sombra que proyecte la regla sobre este plano se encontrará asimismo en el plano vertical que pasa por el centro del Sol, y coincidirá, sin duda alguna, con la meridiana que se busca. Como el Sol obtiene entonces su altura máxima, la sombra del estilo será lo más corta posible; pero esta circunstancia no permite que se trace la meridiana con gran precisión, puesto que el Sol camina en este punto con gran lentitud, y un poco antes, ó algo después del mediodía, la longitud de la sombra varía de un modo casi insensible y en cantidad pequeñísima.

Ha sido menester, por tanto, buscar otro método, fundado en la igualdad longitudinal de las sombras proyectadas por el estilo, cuando el Sol se encuentra, antes y después del mediodía, en planos verticales, que formen un ángulo igual con el plano meridiano. Esta igualdad es rigurosa, sobre todo en la época de los solsticios de verano y de invierno, pues entonces varía la declinación del Sol de un modo inapreciable en el curso del día.

Para trazar la meridiana en un plano horizontal, ya con anterioridad establecido por medio del nivel, se clava ó fija en el centro una regla metálica ó de madera, en una posición rigurosamente vertical, posición que se comprueba haciendo uso de la plomada. Del pie del estilo se describe una serie de circunferencias concéntricas, y antes y después del mediodía se marcarán los puntos de estas circunferencias en que termine la sombra

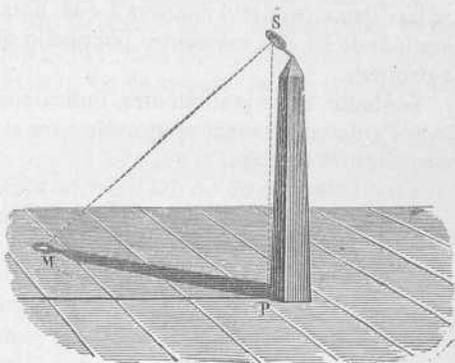


Fig. 148. — Gnomon: determinación de la altura meridiana del Sol

de la punta de la regla; los ángulos que forman los radios tirados á los dos puntos de cada circunferencia se encontrarán precisamente divididos en dos partes iguales, por la meridiana que se busca; bastará, pues, efectuar esta división por los procedimientos geométricos, para obtener la dirección de esta línea, sirviendo de comprobación mutua los diversos resultados que se obtengan.

Es preferible, en vez de usar una varilla ó regla terminada en punta, colocar una placa agujereada en el extremo superior del estilo, pues de esta suerte se forma sobre el plano horizontal una imagen redonda del Sol, y su centro se elige para marcar los puntos de las circunferencias.

Los antiguos empleaban por lo común un gran obelisco, pirámide de escasa base ó columna, erigida en un lugar descubierta; en su vértice colocaban una esfera ú otra figura, cuya sombra proyectada en el suelo señalaba las horas según las diversas posiciones que venía ocupando en el transcurso del día.

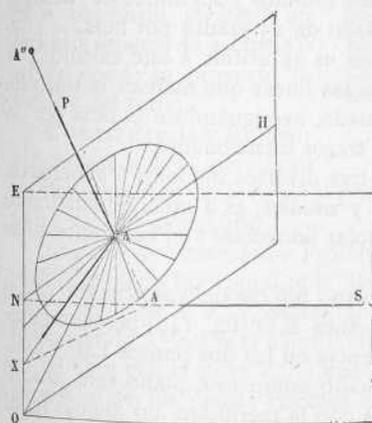


Fig. 149. — Cuadrante solar ecuatorial

Servían, por lo común, los gnómones para medir la altura meridiana del Sol en las distintas épocas del año; en efecto, el centro M de la imagen del Sol, el centro S del orificio de la placa y el pie P de la vertical bajada de este último punto sobre el suelo, son los tres vértices de un triángulo rectángulo cuyos dos

lados SP y MP se conocen. La longitud de SP se determina de una vez para siempre y la longitud MP se mide fácilmente el día en que se efectúa la observación. El ángulo $SM P$, ó sea la altura angular del Sol sobre el horizonte, se deduce sin dificultad.

También puede trazarse la meridiana por enfilaciones nocturnas con las estrellas; basta para ello conocer á qué hora pasa por el meridiano la polar, determinando en este momento, por medio de dos plomadas, el plano vertical que la contiene.

Sentados estos preliminares, indicaremos cuál es el principio de los relojes de Sol y de qué manera se procede para el establecimiento de los aparatos más corrientes de su clase.

En el intervalo de un día describe el Sol, como es sabido, poco más ó menos, un paralelo con movimiento uniforme; de tal modo, que su centro viene á coincidir sucesivamente con los círculos de declinación que han recibido el nombre de círculos horarios, describiendo arcos de 15° de amplitud por hora de tiempo. Claro está que si se pudiese determinar en un momento cualquiera del día la posición del círculo horario en que el Sol se encuentra en este instante, se conocería la hora por una sencilla transformación de los grados, minutos y segundos de arco, en horas, minutos y segundos de tiempo, á razón de 15 grados por hora.

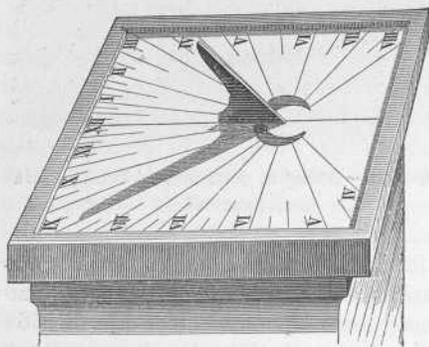


Fig. 150. - Cuadrante solar horizontal

El objeto que llenan los cuadrantes solares es substituir á este cálculo, por demás sencillo, la construcción geométrica de las líneas que marcan el trazo de los círculos horarios sobre un plano determinado, averiguándose la hora por la coincidencia de la sombra del estilo, con los trazos mencionados.

Nos limitaremos á señalar el trazado de tres diversos modelos ó géneros de cuadrantes solares, por ser los más sencillos y usuales; es á saber, el cuadrante solar equinoccial ó ecuatorial, el cuadrante solar horizontal y el cuadrante solar vertical.

Cuadrante ecuatorial. - Supongamos un plano fijo paralelo al ecuador celeste; su traza sobre un plano horizontal será la línea EO (fig. 149) perpendicular á la meridiana NS , terminando por consecuencia en los dos puntos Este y Oeste del horizonte. El trazo del plano meridiano sobre este plano será una línea NH perpendicular á EO y que formará con la meridiana un ángulo igual al complemento de la latitud del lugar ($49^\circ 35' 30''$ para Madrid).

En un punto A del plano dado se levanta un estilo que le sea perpendicular y paralelo, por tanto, al eje del mundo; su inclinación sobre el horizonte será, pues, igual á la latitud del lugar ($40^\circ 24' 30''$ para Madrid). Describamos del pie del estilo, tomado como centro, una circunferencia y dividámosla, partiendo del diámetro NH , en 24 sectores iguales, por radios equidistantes. Es evidente

que estos radios no serán más que los trazos de los 24 círculos horarios sobre el plano paralelo al ecuador; pero como el estilo se encuentra asimismo en cada uno de estos planos y en la intersección común de todos, cuando el Sol coincide con uno de ellos, coincidirá la sombra del estilo con el radio que forma su trazo, y marcará, por tanto, la hora verdadera del momento de la observación.

La línea NH es la hora en que el Sol se encuentra en el meridiano, es decir, medio día verdadero; se marcará, pues, XII^h. Los radios situados al Oeste de esta línea indican las horas de la mañana, y los de la parte contraria, ó sean los del Este, las horas de la tarde; el diámetro horizontal da las VI^h de la mañana y las VI^h de la tarde.

Es evidente que, durante la primavera y el verano, la sombra la producirá la parte superior del estilo, proyectándose en la cara superior del cuadrante, toda vez que entonces es boreal la declinación del Sol. En otoño y en invierno caerá la sombra en la cara inferior. Por último, en la época de los equinoccios, como el Sol se encuentra en el plano del cuadrante, se hace necesario levantar en éste una especie de reborde ó aro en donde se proyecte la sombra del estilo.

Constrúyense también cuadrantes solares ecuatoriales transparentes, en los cuales puede observarse la hora sobre la misma cara en todas las épocas del año.

Cuadrante horizontal. — Prolonguemos el estilo PA (fig. 149) hasta el punto A' del plano horizontal, y la línea AP de las X^h hasta el trazo EO; unámonos en seguida A'X, y, evidentemente, esta última línea será el trazo del círculo horario de X^h sobre el plano horizontal. La sombra del estilo coincidirá, pues, en tal hora con la línea AX; una construcción análoga nos dará los trazos horizontales de los demás círculos horarios, y su conjunto formará el cuadrante solar horizontal, cuyo estilo, como vemos, es siempre una línea paralela al eje del mundo ó línea de los polos.

Por lo general se instalan los relojes de Sol en una ventana ó sobre un pilar en un jardín ó terrado (fig. 150); mas también se construyen portátiles, y para utilizarlos es necesario ante todo saber orientarlos, es decir, determinar la meridiana del lugar en que se observa.

Cuadrante meridional vertical. — Si por la línea OE (fig. 149) se levanta un

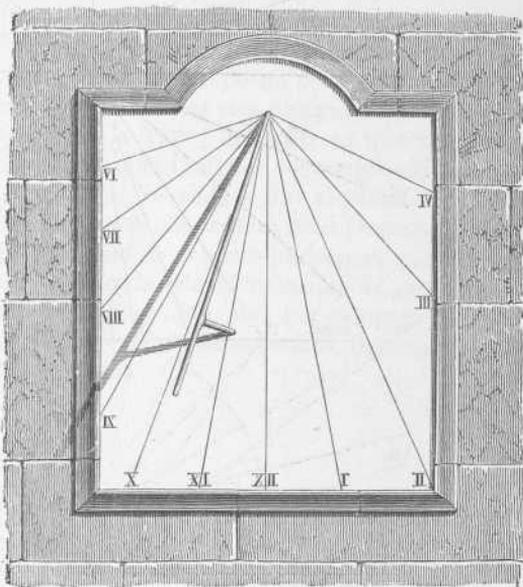


Fig. 151. — Cuadrante solar vertical declinante

en una dirección perpendicular al meridiano, se trazan, siguiendo siempre los mismos principios, cuadrantes verticales que en este caso se llaman declinantes. La fig. 151 representa uno de estos relojes, trazado en un muro vertical que forma un ángulo de 18 grados con la línea Este-Oeste.

Marcan los cuadrantes solares las horas indicadas por el Sol, esto es, el tiempo verdadero; si se trata de utilizarlos para arreglar los relojes, hay necesidad de aplicar á sus indicaciones una corrección que es la ecuación de tiempo, en otro lugar de este libro explicada, respectiva al día de la observación, obteniéndose de tal modo el tiempo medio.

En la figura anterior presentamos el croquis de la construcción geométrica de las líneas horarias de un cuadrante horizontal y de un cuadrante vertical meridional, deducidas de la supuesta construcción de un cuadrante solar ecuatorial. Claro está que no hay necesidad de realizar esta última de un modo material y que basta para el caso con saber la latitud del lugar en que va á instalarse el reloj. Las líneas de puntos de la mitad inferior del croquis no son sino las líneas horarias del cuadrante ecuatorial, rebatidas sobre el plano horizontal; una vez trazadas, dan por sus intersecciones con la línea Este-Oeste los puntos que hay que unir con el pie del estilo, bien en el plano horizontal, ya en el vertical, para obtener las líneas horarias de cada reloj. Finalmente, la posición del pie del estilo se obtiene rebatiendo una línea que pase por el centro del cuadrante ecuatorial y que forme un ángulo con el plano vertical, del mismo valor que el complemento de la latitud del lugar.

LIBRO SEXTO

EL ANÁLISIS ESPECTRAL

INTRODUCCIÓN

Hace unos cincuenta años daba el Dr. Lardner, en Inglaterra, varias conferencias científicas sobre diversas materias, á las que asistía con empeño un público numeroso y escogido. En una de ellas, que versaba sobre astronomía, eligió como asunto el sabio y popular profesor, con objeto de maravillar á sus oyentes, el problema de averiguar el peso de los planetas, en la persuasión de que sus palabras y deducciones habrían de ser acogidas con marcadas muestras de incredulidad. En efecto, que el hombre pueda, desde el planeta que habita, medir la distancia que lo separa de los demás cuerpos que componen el séquito del Sol, aunque problema arduo y asombroso, casi no parece del todo imposible de realizar; pero difícilmente se encuentran personas que admitan de buen grado, y como verdad asequible, que los astrónomos hayan llegado á pesar, no sólo nuestro mundo, sino también los planetas, la Luna y aun el mismo Sol.

Mas si uno de los oyentes del ilustre profesor hubiese dicho á éste que el hombre llegaría también á determinar los componentes químicos del Sol y las estrellas, averiguando qué astro tiene hierro ó carece de él, cuál hidrógeno, sodio ó plata, ó cualesquiera otros cuerpos elementales, casi es seguro que el profesor hubiera rechazado el aserto, fundándose en que superaba los límites de su propia credulidad, puesto que así como veía claramente cómo se medían y pesaban los planetas en virtud de principios fijos y demostrados, no podía considerar la determinación de sus elementos constitutivos más que como una especulación atrevida y sin fundamento sólido.

Y sin embargo, tal cosa ha llegado á efectuar el hombre, valiéndose sencillamente de un pedazo de cristal de forma triangular; no hay que extrañarlo, pues rara vez ocurre que un descubrimiento importante permanezca aislado y estéril, y casi siempre es origen de nuevos descubrimientos. La observación de que un cuerpo magnético, suspendido libremente, se dirige según la línea Norte-Sur, ha contribuído en proporción inmensa al desarrollo del comercio y de los descubrimientos geográficos, siendo la piedra fundamental de la gran teoría del magnetismo terrestre. Del propio modo el telescopio y el microscopio han dado origen en los dominios de la astronomía, de la anatomía y de la fisiología de los seres infinitamente pequeños, á descubrimientos importantes, imposibles de realizar sin el auxilio de estos preciosos instrumentos.

En esta parte de nuestro trabajo vamos á exponer los adelantos y progresos que ha hecho la astronomía, gracias al nuevo y poderoso instrumento que llamamos espectroscopio, admirable aparato con el que, en ciertos casos, podemos reconocer á millones de leguas de distancia la naturaleza química de los cuerpos y aun su estado físico. Han sido tan inesperados é importantes los resultados obtenidos de la aplicación del análisis espectral al estudio de los astros, que bien puede decirse que este método de observación ha hecho nacer una rama nueva y distinta en la ciencia astronómica.

La *Astronomía física*, monumento impercedero que con creciente majestad se levanta á la memoria de Newton, puede definirse diciendo que es la extensión á los cielos de las leyes de la dinámica terrestre, pues que trata de explicar el movimiento de los cuerpos celestes, en el supuesto de la universalidad de una fuerza atractiva semejante á la que vemos obrar constantemente en la superficie de la Tierra.

La nueva rama de la ciencia astronómica que podemos decir nacida del análisis espectral, tiene por objeto la extensión y ensanche de las leyes de la física terrestre y su aplicación al estudio de los cuerpos celestes, y se apoya en el hecho nuevamente establecido de que en el mundo estelar existen materias de naturaleza idéntica á las de la Tierra y sujetas á las mismas leyes.

La importancia particular que reviste para la astronomía el descubrimiento de Kirchhoff es evidente, si se considera la posición que ocupamos respecto de los cuerpos celestes. La gravitación y las leyes que rigen nuestro ser nos impiden que abandonemos la Tierra, y por consecuencia, tan sólo por el estudio de la luz podemos adquirir algunas nociones sobre el enjambre numeroso de los astros del cielo, que nos envuelven por todas partes y que majestuosos circulan por las profundidades de los espacios cósmicos. La luz del cielo estrellado es el único medio de que podemos disponer para especular acerca de las condiciones de la materia extra planetaria, y en este océano luminoso, cada punto brillante es el signo de una actividad inmensamente vasta y al propio tiempo eminentemente lejana.

Hasta hace muy poco tiempo, ayer como quien dice, la luz de las antorchas del firmamento, aun condensadas, en el foco de los telescopios de mayor potencia, apenas nos habían enseñado cosa de mayor valer; difícilmente, y en pocos casos, llegábamos á saber por su medio cuál era la forma y cuáles las dimensiones y colores de los cuerpos que contemplamos. El descubrimiento admirable del análisis espectral nos coloca en situación favorable para interpretar los símbolos y las indicaciones que, latentes en la luz misma, nos suministran datos exactos sobre la condición química, y también, en cierto límite, sobre la física de los remotísimos cuerpos de donde emanó aquella luz, hace millares de años.

En forma condensada, presentamos en las páginas siguientes los métodos y procedimientos usuales de la espectroscopia y los admirables resultados que se han obtenido de su aplicación á la Astronomía solar, planetaria, estelar, cometaña, etc., precedidos de ligeras consideraciones sobre los principios ópticos en que se basa el nuevo instrumento de investigación, que hagan más fácilmente comprensibles los problemas que ha resuelto este maravilloso sistema de análisis de la materia.

CAPITULO PRIMERO

LA LUZ

Analogía del sonido y la luz. — Propagación de la luz. — Refracción de la luz.
Dispersión de la luz

Aunque la teoría de la luz se conoce hoy día con tal perfección que es posible explicar satisfactoriamente los más complicados fenómenos de la óptica, sin embargo, es muy difícil contestar á esta sencilla y elemental pregunta: ¿cuál es la naturaleza de la luz? Apreciamos los procedimientos de esta fuerza natural en todos sentidos y direcciones; el Sol, verbigracia, derrama al hallarse esplendente en medio del cielo sus blancos rayos, de un solo color, sobre la Tierra, y sin embargo, cada objeto particular se ofrece á nuestra vista con un color propio: ¿qué son estos colores? ¿Cómo se desarrollan y generan de la luz blanca que emiten el Sol y otros cuerpos?

No es menester que tratemos de buscar la manera de eludir la contestación á estas preguntas, si conseguimos llegarnos á formar una idea clara de los fenómenos del análisis espectral, pues ya indicamos que el mundo de los colores es el territorio particular de este nuevo método de investigación.

Los senderos de la ciencia se encuentran á menudo obstruídos con proposiciones extrañas y en la apariencia contradictorias, que para el neófito son como los espectros que disputaban el camino á Dante y su celeste guía cuando descendieron á la mansión de los muertos; con algún valor, empero, podemos atravesar la temible vereda, apoderándonos de estas inofensivas apariciones, trabando amistad con ellas, una á una, y á medida que se nos presenten.

Según la teoría admitida hoy generalmente, el universo es un inmenso océano de materia, de una tenuidad extraordinaria, imperceptible á nuestros sentidos, en el cual se mueven los cuerpos celestes sin obstáculo aparente. Este fluido, que se llama éter, llena todo el espacio y todos los cuerpos, lo mismo los intervalos infinitos que hay entre los astros, como los poros ó intersticios que separan las moléculas de los cuerpos; las menores partículas de esta materia sutil están en movimiento vibratorio constante; cuando se comunica este movimiento á la retina del ojo, produce, si la impresión sobre los nervios es bastante fuerte, una sensación que llamamos *luz*.

Toda substancia, por lo tanto, que imprime al éter una vibración potente es luminosa; las vibraciones fuertes se perciben como luz intensa y las débiles como luz escasa, pero entrambas proceden del objeto luminoso con la extraordinaria velocidad de 75.000 leguas por segundo, disminuyendo necesariamente su fuerza en proporción que se extiende por un espacio mayor.

No es, pues, la luz una substancia distinta, sino sólo la vibración de una

substancia, que, según sus diversas formas de movimiento, genera luz, calor ó electricidad. Deja de ser sorprendente esta manera de representar la naturaleza de la luz, cuando se comparan las vibraciones del éter con las del aire atmosférico y se establece un paralelo entre la luz y el sonido, entre el ojo y el oído.

Una cuerda tirante que vibra, produce en el aire que la rodea una compresión y un enrarecimiento; en su frente se comprime y condensa el aire, y detrás se forma un vacío que ocupa en el acto el aire inmediato, rarificándose por el momento. Este movimiento periódico del aire se transmite á nuestros oídos con la velocidad de 335 metros por segundo, poco más ó menos; choca contra la membrana del tímpano, y ocasiona por su impulso en los nervios auditivos y el

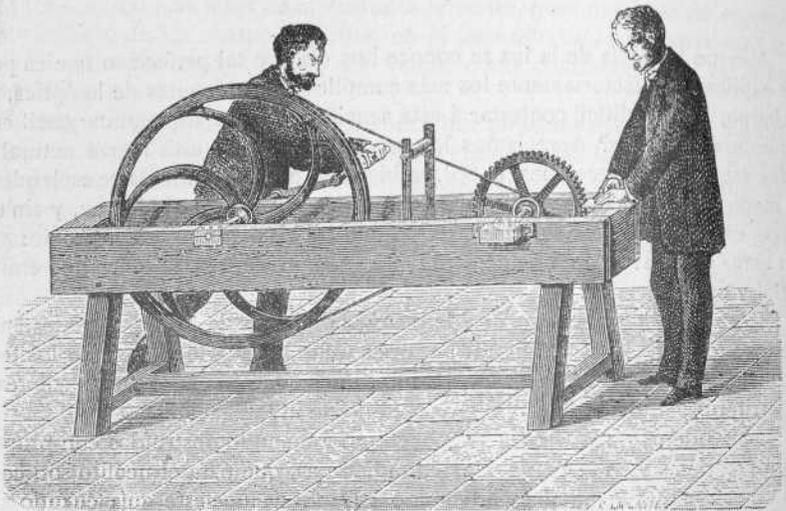


Fig. 153. - Rueda dentada de Savart; el número de vibraciones de un sonido crece con su tono

cerebro la sensación que llamamos sonido. El aire en movimiento, por su influencia en los órganos de la audición, es, pues, la causa de los ruidos; el éter en movimiento, por su influencia en los órganos de la vista, es la causa de la luz. Sin aire, ó sin algún otro medio por el cual pudieran propagarse las vibraciones de los cuerpos hasta llegar á nuestros oídos, no hay sonido posible. Así como un cuerpo sonoro no emite substancia efectiva de sonido, al modo de una flor que exhala un perfume, sino que tan sólo produce una vibración en el aire, de igual manera un cuerpo luminoso no esparce al exterior substancia alguna de luz, y únicamente da un impulso al éter y lo hace vibrar.

Un sonido musical se diferencia del simple ruido, porque se produce únicamente cuando las conmociones del aire llegan al oído con intervalos regulares; si los intervalos entre los impulsos no son suficientemente regulares, se produce un silbido, un murmullo ó un zumbido; mas para que haya sonido musical es indispensable que sea la regularidad perfecta en la sucesión de los impulsos ó vibraciones.

La altura ó tonalidad de un sonido ó nota musical depende del número de vibraciones ejecutadas por el cuerpo sonoro en un espacio de tiempo dado, por ejemplo, en un segundo; mientras mayor sea el número de vibraciones, más aguda será la nota producida; cuando las vibraciones son inferiores á 16 ó pasan de 40.000 por segundo, deja de percibir el oído sonidos musicales; en el primer caso sólo se advierte una especie de zumbido sordo; en el segundo la sensación que se experimenta es casi dolorosa. Los sonidos más graves empleados en música son los de los cañones de órgano cerrados, de unos cinco metros de largo; corresponden á 32 vibraciones por segundo. En los sonidos agudos nunca se pasa de la triple octava del *la* del diapasón, que da 6.960 vibraciones por segundo.

El oído no percibe los impulsos ó vibraciones individuales cuando no pasan de 16 por segundo, pues las impresiones que producen se ligan unas á otras tan instantáneamente, que la sensación en el oído es la de una vibración continua.

La intensidad del sonido depende de la amplitud de las vibraciones, y si se esfuerza la voz, ó el aire de un instrumento, ó se pulsa

con más energía la tecla de un piano, aumenta el volumen del sonido, pero el tono de la nota permanece invariable, aunque se haga más penetrante.

Savart se valió de un mecanismo sencillo para demostrar la causa del sonido, empleando una rueda dentada, con la cual era posible contar el número de vibraciones que corresponden á un sonido dado; se produce en este aparato el sonido por el choque de un naipe contra los dientes de una rueda; cuando es pequeña la velocidad de ésta, sólo se oye una serie de ruidos aislados, cuyo conjunto no llega á producir, hablando con propiedad, ningún sonido, y cuyo tono es, por consecuencia, inapreciable; pero á medida que crece la velocidad de la rueda (fig. 153) las vibraciones multiplicadas del naipe se transmiten al aire, produciendo un sonido continuo, tanto más agudo, cuanto mayor es la velocidad; á la rueda dentada se agrega un contador, que da á conocer el número de vueltas de la rueda en un segundo de tiempo; este número, multiplicado por el de los dientes, da la mitad del número total de vibraciones, pues es evidente que el naipe, doblado primero en un sentido, vuelve á recobrar su primera forma, dando dos vibraciones simples por cada diente que pasa.

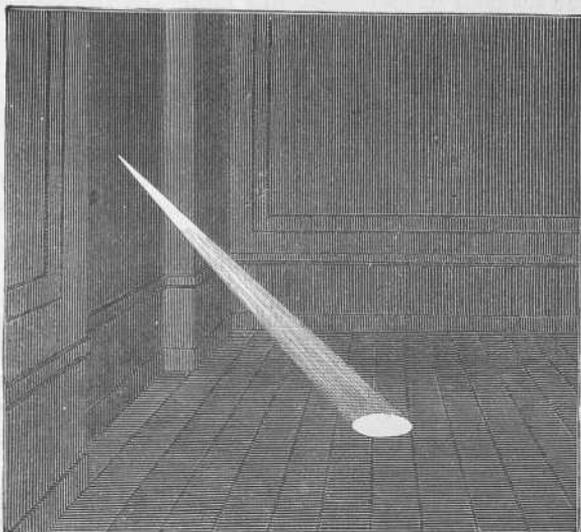


Fig. 154. — Propagación de la luz en línea recta

Savart obtuvo de una rueda de 600 dientes hasta 40 vueltas por segundo, y por consecuencia, 48.000 vibraciones en igual período de tiempo; lo que corresponde á un sonido en extremo agudo.

Después de estas explicaciones, nos será más fácil comprender el movimiento del éter y su modo de obrar sobre el órgano de la vista; el éter, de igual manera que el aire, puede sufrir vibraciones regulares, y hasta tal extremo, que sus fases de condensación y rarefacción se repitan en intervalos periódicos. La diferencia entre las vibraciones del aire y las del éter se debe á la extremada delicadeza y elasticidad del último, que no sólo permite una rapidez mayor en la propagación del movimiento de la que es posible obtener con las bastas y pesadas partículas del aire, sino que también hace que el número de vibraciones por segundo sea inmensamente mayor, por lo cual es necesario contarlas por billones.

Los colores son para los ojos lo que las notas musicales para el oído; cierto número de vibraciones del éter por segundo es indispensable para herir la retina;

si el número de estas ondas pasa de cierto límite ó no llega á él, deja el ojo de poseer sensibilidad para percibirlos.

La primera sensación de estas vibraciones en el ojo empieza por unos 450 billones de impulsos en un segundo, y deja de percibirlos cuando llegan al doble casi de este número, ó sean 800 billones; en el primer caso, la impresión producida es la del color rojo muy obscuro ó más bien de un negro rojizo, y en el último de violeta obscuro.

Mientras mayor es el número de vibraciones en un tiempo dado, con más rapidez se suceden; podemos deducir, por lo tanto, que los diferentes colores se producen únicamente por los distintos grados de rapidez de que están animadas las vibraciones del éter, de igual manera que las

notas musicales dependen de la rapidez de sucesión de las vibraciones del aire; las vibraciones más lentas, esto es, las que importan á lo menos 450 billones por segundo, producen la sensación del rojo; las que siguen en rapidez dan el amarillo, y si se aumenta su número de un modo sucesivo, cambia la sensación en

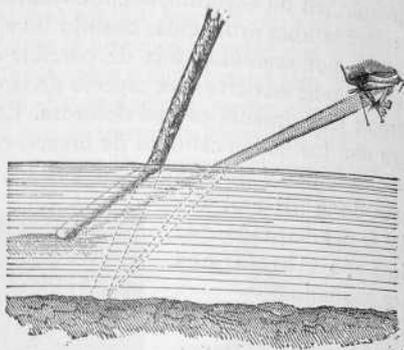


Fig. 155. - Apariencia que presenta un palo metido en el agua

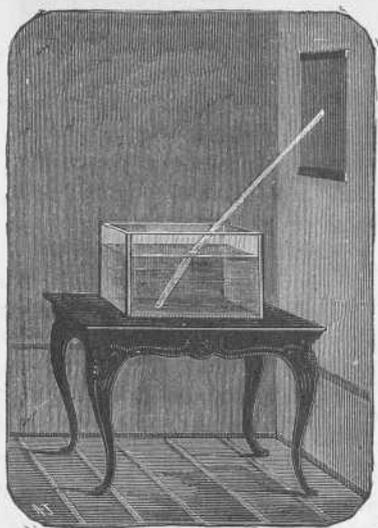


Fig. 156. - Refracción de un rayo luminoso

verde, azul y violeta, color que sirve de límite á la sensibilidad del ojo humano, sin que este límite sea el de las vibraciones del éter, que se extienden todavía mucho más.

La gradación de los colores del rojo al amarillo, verde, azul y violeta, es para el órgano de la vista lo que la gama ó escala musical es para el oído, y no sin razón, por tanto, hablamos del tono y armonía de los colores; para el físico, las palabras color y tono no son más que distintos modos de expresar fenómenos semejantes y estrechamente enlazados, esto es, la percepción de movimientos regulares que se verifican en períodos iguales de tiempo, y que en el éter producen los colores y en el aire los sonidos musicales; en el primer caso por medio del órgano de la vista, y en el segundo por el del oído, se nos hacen perceptibles los rapidísimos movimientos del éter y los más moderados del aire.

Pero, se preguntará, ¿qué se hace de esas vibraciones que se encuentran más allá de los límites superior ó inferior de sensibilidad que tiene el ojo humano para apreciar la luz y el color? ¿Vagan por el espacio sin objeto ni aplicación y completamente inadvertidas? Nada de eso; se demuestra de un modo que no deja lugar á duda la existencia de ciertas fuerzas en los rayos del Sol y otros potentes cuerpos luminosos, que dejan de ser percibidas por el ojo. Las vibra-

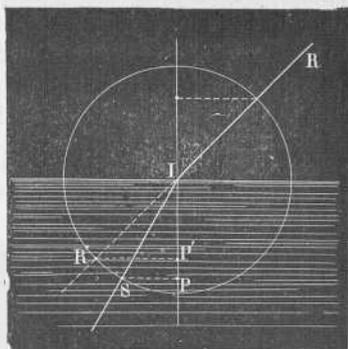


Fig. 157. — Ley de refracción

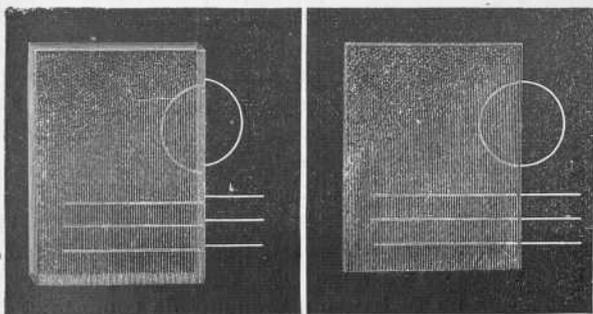


Fig. 158. — Refracción á través de una lámina de caras paralelas

ciones más lentas, que aun contadas por billones no pasan de 450 de estas unidades por segundo, parecen destinadas á producir la sensación del calor, que también resulta de un movimiento ondulatorio, propagándose el llamado radiante, como la luz, sin auxilio de ningún cuerpo extraño. Por otra parte, las vibraciones de velocidad superior á las que producen el color violeta, punto en que cesa la susceptibilidad de la vista, se revelan por su poderosa potencia química.

La luz se propaga á través del vacío y á través de algunos cuerpos ó medios,

sólidos, líquidos y gaseosos. Al decir *vacío*, entendemos, según los físicos, no el vacío absoluto, sino un espacio por completo desprovisto de toda substancia tangible, como los interplanetarios, la cámara barométrica ó la campana de la máquina neumática, después de haber extraído el aire. La luz que recibimos del Sol y de las estrellas, y la que atraviesa los recipientes vacíos de nuestros laboratorios, nos demuestra que este movimiento no necesita para propagarse un medio ponderable, como exige el sonido. En cuanto á la propagación de la luz á través del aire y los gases, del agua y de los cuerpos sólidos como el vidrio, el talco, etc., apenas hay necesidad de demostrarla con experimentos, por ser cosa que vemos diariamente.

Sabemos también que los cuerpos luminosos por sí propios, no son los únicos que producen en nuestros sentidos la sensación de la luz, y que sirven asimismo para iluminar otros cuerpos, haciéndolos visibles. Los cuerpos iluminados de esta suerte, se convierten en focos luminosos secundarios, de los que emana la luz para propagarse en los medios que hemos indicado, de igual manera que la luz directa.

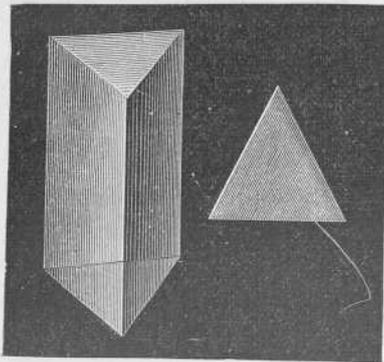


Fig. 159. — Forma geométrica del prisma

Cuando la luz emitida por un foco luminoso ó por un cuerpo iluminado llega á nuestro ojo, tiene que atravesar medios diáfanos ó translúcidos. ¿Qué camino sigue en su propagación y qué ocurre si en su trayecto encuentra un cuerpo de tal ó cual opacidad? Son éstos problemas bien sencillos cuya solución puede obtenerse con sólo interrogar la naturaleza. El caso

menos complicado es aquel en que la luz atraviesa un medio transparente perfectamente homogéneo, es decir, que tenga la misma densidad é igual composición en todas sus partes, y llega directamente al ojo. Varios experimentos demuestran que en este caso se propaga en línea recta,

Si entre la llama de una bujía y el ojo interponemos unas pantallas opacas, perforadas con un agujero pequeñito, habremos de reconocer que para percibir la luz es preciso que todos los agujeros estén en línea recta; tampoco podemos ver la luz del día á través de un largo tubo, como éste no sea recto, ó cuando menos, si su curvatura no es bastante pronunciada como para que una línea recta no lo atravesase de un extremo á otro sin tocar en sus paredes. Si nos encerramos en un cuarto oscuro y dejamos que sólo penetre la luz del Sol por un orificio practicado en la ventana, percibiremos un cono luminoso en el aire, que indica el curso de la luz, curso rectilíneo como los lados del cono. En este caso no es el aire el que se ve, sino los corpúsculos flotantes que tiene en suspensión, iluminados al pasar la luz.

También se puede demostrar la propagación de la luz en línea recta cuando, ocultado el Sol por un grupo de nubes, lanza sus rayos á través de los intersticios de las mismas masas de vapores; se ve entonces cómo se proyectan en la atmós-

fera rastros más ó menos luminosos, que afectan, á no dudar, una dirección rectilínea.

Cuando sumergimos un palo recto en el agua transparente, parece que la parte vista á través del líquido no es continuación en línea recta de la porción que queda fuera del agua; se diría que el palo se quiebra en la superficie del líquido, y también que el pedazo sumergido es más corto de lo que debiera. Si colocamos el palo verticalmente, ó si el ojo recibe los rayos visuales en una dirección que lo haga aparecer como si estuviera vertical, entonces no se ve quebrado el palo, sino sencillamente más corto. Este experimento puede hacerse con toda facilidad sumergiendo un lápiz en un vaso de agua clara.

Si en una habitación á obscuras dejamos penetrar por un pequeño orificio un rayo de Sol, haciendo que caiga oblicuamente sobre la superficie del agua contenida en una artesa de paredes de cristal, observaremos que dentro del agua se quiebra, como se quebraba el palo, y que la segunda porción no es continuación en línea recta, de la primera.

En ambos casos la superficie del agua es el plano en que tanto el palo, como el rayo de luz solar, cambian de dirección, y este cambio ó desviación de la línea recta es lo que se llama refracción. Para que haya refracción es menester que el rayo luminoso pase de un medio homogéneo transparente á otro de distinta densidad, como del aire al agua, de un gas á otro.

El rayo que se propaga por el primer medio se llama incidente; al llegar á la superficie del segundo medio, forma con la línea perpendicular el plano de separación un ángulo, que se llama de incidencia; al continuar su camino en línea recta por el segundo medio, forma con la normal otro ángulo, que se llama de refracción, y que, por lo común, no es igual al de incidencia. La misma marcha, pero en sentido inverso, sigue el rayo si pasa del segundo medio al primero; sólo que el rayo incidente viene á ser el refringido, y recíprocamente. Por ejemplo, si el punto luminoso está en el agua, en S, el rayo que cae en el punto I de la superficie se desviará de la perpendicular según la dirección I R; la dirección S I R será la misma en sentido inverso si el rayo incidente hubiera sido R I, por manera que los ángulos de incidencia y de refracción tienen los senos inversos, pero su relación permanece siempre constante.

Cuando se examina un objeto á través de una lámina transparente, verbigracia, de vidrio, cuyas dos caras sean paralelas, si el ojo y el objeto están en una misma línea perpendicular á la citada lámina, se ve el punto luminoso en la dirección exacta en que se observaría sin interposición de ningún medio refringen-

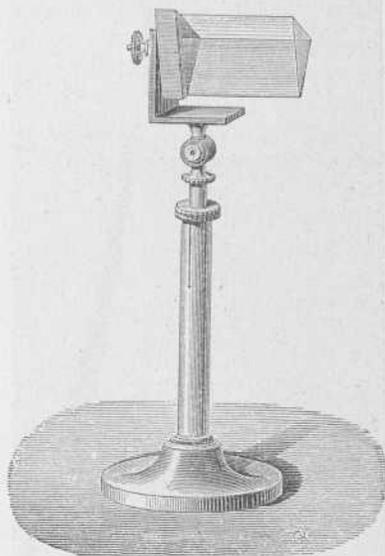


Fig. 160. — Prisma montado sobre un pie

te (fig. 158); lo cual consiste en que no hay refracción para los rayos normales.

Pero no puede decirse lo mismo de la incidencia oblicua, pues en este caso se desvía el punto luminoso. Nada más fácil que demostrar experimentalmente esta desviación; para ello se toma una lámina de vidrio y se coloca sobre un papel en el que de antemano se trazan varias líneas rectas y curvas, de tal modo

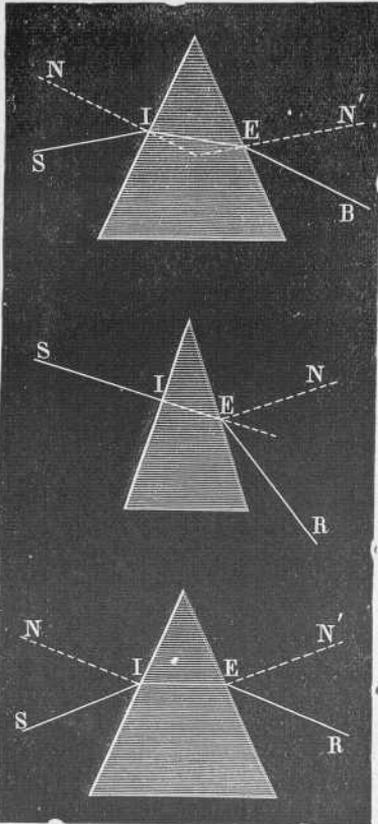


Fig. 161. —Desviación de los rayos luminosos á través de los prismas

que la lámina sólo las cubra parcialmente. Mirando en dirección perpendicular, se observa que las líneas vistas por transparencia son continuación de las líneas vistas directamente. Si se mira en dirección oblicua, se nota una desviación, una solución de continuidad, más marcada cuanto más oblicua sea la incidencia de los rayos luminosos. Esta desviación se debe á la refracción y crece también con el grueso de la lámina transparente.

Examinemos ahora los fenómenos que dependen de la refracción de la luz cuando atraviesa un medio refringente cuyas caras planas no son paralelas, esto es, en los prismas. La fig. 159 representa en perspectiva y en corte la forma geométrica del prisma tal y como se usa en óptica; para efectuar los experimentos con mayor comodidad se le suele montar sobre un pie (fig. 160) de manera que pueda girar alrededor de su eje; la pieza de metal que sujeta el prisma es móvil alrededor de un eje vertical, y además se halla provista de un gozne, de tal suerte que el instrumento puede colocarse en todas las posiciones imaginables respecto de los planos vertical y horizontal.

El efecto de un prisma sobre un rayo luminoso que penetra por una de sus caras, lo atraviesa y sale por la otra cara, consiste en desviar el rayo hacia la parte

de la base; basta examinar la fig. 161, que da la marcha de los rayos incidentes y refringidos, para hacer evidente este fenómeno; el rayo incidente $S I$, después de sufrir una primera refracción, recorre en el prisma el curso $I E$, se refringe de nuevo al salir del prisma y por fin emerge en la dirección $E R$, lo cual se confirma por la observación; en las tres figuras las líneas de puntos $I N$ y $E N'$ son perpendiculares á las caras de los vidrios; el rayo es desviado en el medio más denso, que es el prisma, hacia esta perpendicular, al paso que se dobla en sentido contrario en el medio menos denso, ó sea el aire; así que el ángulo que forma con la perpendicular es siempre mayor en el aire que en el vidrio.

En la figura, el rayo incidente $S I$ pasa sin refringirse á través del prisma en la dirección $I E$, porque $S I$ es perpendicular á la cara del prisma. En la figura tercera el rayo incidente $S I$ y el emergente $E R$ forman un mismo ángulo con las superficies del prisma, en cuya posición tiene lugar la divergencia más pequeña del rayo incidente $I S$, por lo cual esta posición se llama de desviación mínima.

Hasta aquí no hemos fijado nuestra atención en la naturaleza del rayo de

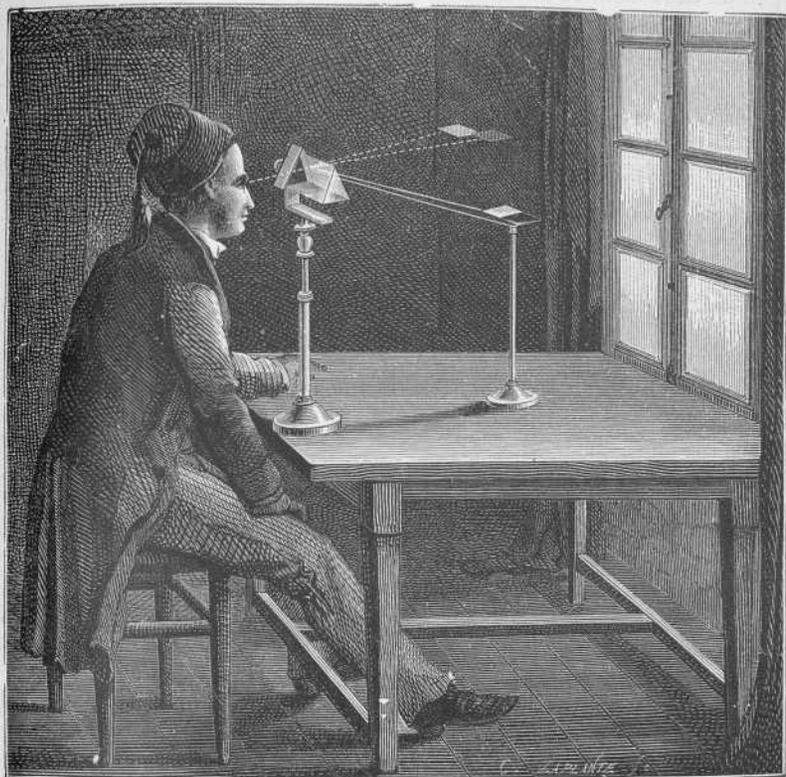


Fig. 162. — Desigual refrangibilidad de los diversos colores

luz, y tan sólo nos hemos ocupado de los fenómenos de refracción comunes á toda clase de rayos. Veamos ahora la marcha que siguen los diferentes rayos de diversos colores en su paso á través de un prisma.

Con un instrumento de esta clase examinó Newton un pedazo de papel pintado por mitad de rojo y azul, y disponiéndolo delante de una ventana como indica la fig. 162, notó que las dos mitades del papel parecían desigualmente desviadas; la porción azul se encontraba transportada algo más abajo que la parte roja de manera que el pedazo de papel parecía dividido en dos secciones, siendo la una prolongación de la otra; lo contrario sucedía si el ángulo del pris-

ma se colocaba en inverso sentido, resultando que el azul era más refrangible que el rojo.

Recibiendo detrás de una lente y sobre una pantalla de papel blanco las imágenes del mismo papel iluminado por una bujía, reconoció Newton que era necesario colocar la pantalla á distintas distancias para obtener imágenes detalladas de la mitad roja y de la mitad azul; un hilo de seda muy negro, que daba varias vueltas al papel, permitía que con facilidad se hallase el lugar en que la imagen de cada color se formaba con mayor limpieza, pues en los demás puntos aparecían las rayas negras mal terminadas y confusas. Para la mitad azul, la distancia de la imagen á la lente era más pequeña que para la mitad roja, lo que demuestra otra vez que el azul está dotado de mayor refrangibilidad que el rojo. Estos dos experimentos son los primeros que describe el gran físico y astrónomo inglés en su tratado de óptica.

Estamos ahora en disposición de anunciar de antemano lo que ocurrirá si

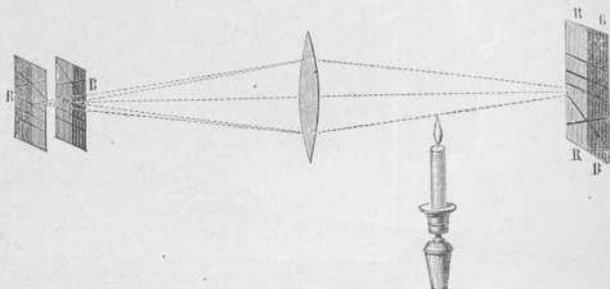


Fig. 163. — Desigual refrangibilidad de los colores simples: experimento de Newton

un rayo de luz compuesto de varios colores pasa á través de un prisma: se separarán los colores componentes por la primera refracción que sufren al entrar en el prisma, y se dispersarán mucho más al salir. El rayo incidente se descompondrá en tantos colores como hayan entrado en su formación, y cada color seguirá su marcha particular desde la primera entrada de la luz en el prisma. Hagamos el experimento con la luz blanca del Sol, y veamos si es ó no homogénea ó monocromática.

Para ello, en el interior de una cámara oscura se recibe directamente sobre una pantalla de papel blanco la luz solar, después que haya pasado por un agujerito de la ventana, y aparecerá en el papel una imagen del Sol blanca y redonda.

Se coloca en el curso de los rayos solares un prisma triangular de flint, por ejemplo, de tal modo que sus aristas estén en dirección horizontal y que el haz luminoso penetre oblicuamente por una de sus caras. Entonces se percibe en la pantalla, en vez de la imagen redonda y blanca del Sol y á cierta distancia sobre el punto en que antes se formaba, una faja prolongada luminosa, compuesta de una serie de colores en extremo brillantes; esta faja es lo que se llama el *espectro solar*.

Veamos en qué orden se suceden los colores cuando el prisma presenta su

base hacia arriba: en el extremo inferior del espectro aparece un rojo brillante y despejado, al cual sucede una tinta anaranjada, y por gradaciones insensibles, un amarillo paja magnífico; viene luego un verde de una pureza é intensidad notables, y en seguida un tono azul verdoso, después azul obscuro hasta llegar al añil, terminando el espectro en el tono lívido del violeta. Si invertimos la posición del prisma, cambia también la disposición de los colores. Así, pues, un rayo de luz blanca se compone de la reunión de una serie de rayos coloreados, de los que solamente hemos nombrado los principales; pues la degradación

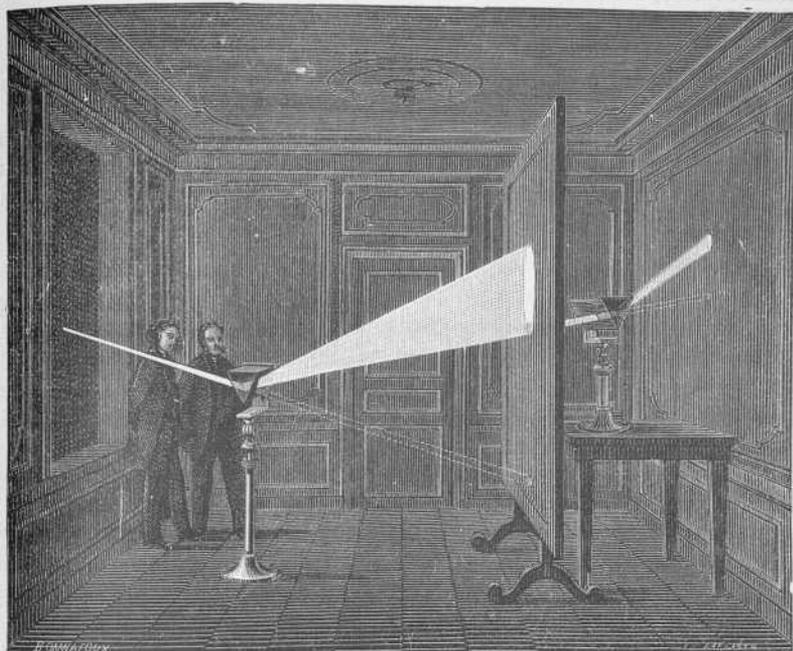


Fig. 164. - Descomposición de la luz por el prisma: espectro solar

de un color en el inmediato se efectúa de un modo insensible, sin que se perciba de uno á otro cambio brusco, ni solución de continuidad.

Tal es el fenómeno de la descomposición ó análisis de la luz, que también se llama *dispersión* de los rayos coloreados.

Este experimento nos demuestra que los rayos luminosos de diversos colores poseen distintos grados de refrangibilidad; la luz roja no sufre tanta desviación de la línea recta, á causa de la refracción, como la luz violeta; la primera, por lo tanto, es menos refrangible que la última. Esta diferencia entre la marcha de los rayos rojos y la de los azules se demuestra con toda evidencia por la teoría ondulatoria de la luz, y es una consecuencia necesaria de la desigual rapidez de las vibraciones del éter, que es la causa de los diversos colores.

Un segundo experimento prueba á la vez que un rayo de cada uno de los

colores del espectro es simple y que su grado de refrangibilidad crece del rojo al violeta. Este experimento consiste en dejar pasar por un pequeño agujero practicado en la pantalla, en el punto en que se forma el rojo, por ejemplo, un rayo de este color. Recibido sobre una segunda pantalla, forma una imagen roja en un punto que se señala cuidadosamente. Si en vez de recibirlo directamente sobre esta pantalla, se interpone un segundo prisma, recibe el rayo luminoso una nueva desviación y su imagen va á formarse en un punto más elevado que la imagen directa (fig. 164); pero la nueva imagen es roja como la primera y de la misma forma, si se ha situado el prisma de un modo conveniente.

La luz roja del espectro no puede, por tanto, descomponerse.

Ahora bien, repitiendo el mismo experimento con los colores sucesivos, se obtienen resultados análogos, luego todos los colores del espectro solar son elementales ó simples.

Pero su refrangibilidad es creciente, pues se observa que las distancias entre las imágenes directas de los colores en la pantalla, y la imagen obtenida por la refracción del segundo prisma, son tanto mayores, cuanto más se aproxima el color á la extremidad violeta del espectro.

CAPITULO II

ESPECTROMETRÍA TERRESTRE

El espectro solar y las rayas de Fraunhofer. — Espectroscopio simple. — Espectroscopio químico. — Diversas clases de espectros. — Inversión del espectro. — Líneas telúricas del espectro solar.

En el experimento que acabamos de referir aparecen los colores en la pantalla con cierta confusión; pero si en vez del agujerito circular hecho en el tablero de la ventana, empleamos una rendija ó ranura, obtendremos un espectro extraordinariamente puro; el rojo, el anaranjado, el amarillo, el violeta, en vez de superponerse y destruir la belleza de la cinta espectral, aparecen separados y como colores simples. El sencillo cambio del agujero oblongo por la ranura, indica cuán delicados son los procedimientos del análisis espectral; pues no bien había examinado el doctor Wollaston la luz del Sol con este nuevo sistema, de igual manera que Newton ciento y tantos años antes con la primera disposición, cuando halló el error en que había caído el gran matemático, quien sostenía que la luz del Sol era continua, esto es, que en su espectro no había solución de continuidad y que la luz se extendía sin interrupción desde el rojo hasta el violeta; al ensayar Wollaston la ranura, vió, por el contrario, que el espectro, en vez de ser una cinta con los colores del iris sin interrupción, presentaba una porción de cortes marcados por líneas negras finas y numerosas.

En 1814, Fraunhofer, óptico alemán, sin tener conocimiento del descubrimiento de Wollaston, se ocupó del estudio del espectro solar, marcando la posición de sus líneas principales con las letras A, B, C, etc., que desde entonces se conocen con el nombre de líneas de Fraunhofer; llegó á descubrir hasta 576 rayas negras, dibujándolas y señalando sus posiciones con el mayor esmero, valiéndose en sus trabajos de un prisma de flint colocado delante del objetivo del antejo de un teodolito.

La fig. 165 representa el espectro según la descripción y los dibujos de Fraunhofer, pero muy reducido, pues es imposible indicar en esa escala todas las líneas. En la raya A casi termina el rojo y en la I el violeta, sin que se puedan fijar con exactitud los límites de estos colores en ninguna de las extremidades del espectro, si bien la parte del rojo se columbra con más facilidad que la del violeta. Después de A se ve un grupo de líneas en α , que forman una banda más oscura que las porciones adyacentes. La línea B es de otro carácter, y de grueso considerable; de C á D se pueden contar nueve líneas muy delicadas y finas. La C es ancha y negra lo mismo que D; entre C y D se encuentran cerca de treinta rayas finas que, exceptuando dos de ellas, sólo pueden percibirse con

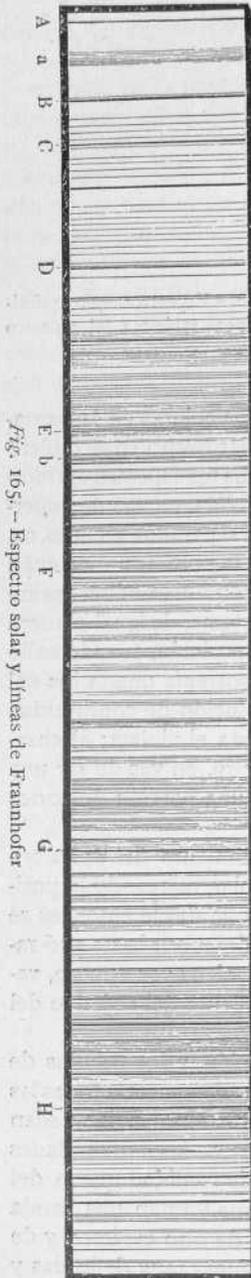


Fig. 165. -- Espectro solar y líneas de Fraunhofer

gran poder amplificador y con varios prismas muy dispersivos; todas presentan bordes detallados.

Otro tanto ocurre con las líneas situadas entre B y C. La D consta de dos rayas gruesas separadas por un fino espacio brillante. Entre D y E se cuentan ochenta y cuatro líneas de diversos tamaños, y así seguía Fraunhofer enumerando, en su Memoria presentada á la Academia de Munich, todas las líneas del espectro hasta el número de 574, y terminaba diciendo: «Por diversos experimentos y modificaciones que he realizado, creo hallarme en estado de afirmar que esas rayas deben su origen á la naturaleza de la luz del Sol, sin que sea posible atribuirles á ilusiones ópticas, como de aberración ó alguna otra perturbación secundaria.»

Treinta años después de los experimentos é investigaciones de Fraunhofer, Zantedeschi, profesor de Física de la Universidad de Padua, se dedicó al estudio especial de las líneas negras del espectro solar. En vez de limitarse á observar, según el método de su predecesor, colocó el prisma entre dos lentes condensadoras; en el foco de una de ellas se disponía la ranura, sirviendo la otra para proyectar el espectro sobre una pantalla. Con estos medios construyó un aparato que en sus órganos esenciales poco difiere del espectroscopio que ahora se emplea.

La importancia que había de llegar á adquirir el análisis espectral no escapó á la penetración de Zantedeschi, pues en su obra publicada en Venecia en 1846, y que lleva por título *Investigaciones fisico-químico-fisiológicas sobre la luz*, se expresa del modo siguiente al hablar de la significación del espectro:

«El espectro solar es el fotoscopio más perfecto que pudiera imaginarse, en el estado actual de la ciencia; la luz se exhibe por sí misma, y con maravillosa escrupulosidad, registra los cambios que ocurren en la constitución de un cuerpo luminoso ó en el medio á cuyo través pasa. Recomendando, por lo tanto, á los investigadores científicos la cámara oscura dispuesta especialmente para esta clase de observaciones fotocópicas. Tengo el convencimiento más profundo de que estas investigaciones serán en extremo provechosas, no sólo para el estudio de la luz, sino también para el de la meteorología y astronomía. La luz, que

en nuestros días se considera como el pintor de la Naturaleza, puede llegar á ser también su propio dibujante, puesto que á cada paso nos revela nuevas maravi-

llas, relativas á los misterios de su constitución y á los cambios que experimenta, no sólo en nuestro sistema planetario, sino también en todo el universo.»

Todo aparato espectroscópico, ó espectroscopio, independientemente de la fuente de luz, se compone de una ranura de ajuste, una lente llamada colimadora y cuyo oficio es dar paralelismo á los rayos que salen de la ranura, y un prisma; además, como el espectro, al salir de aquél, presenta una longitud escasamente

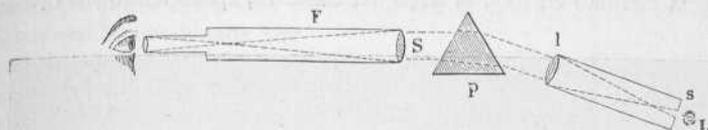


Fig. 166. - Espectroscopio simple

mayor que el ancho de la ranura y sólo adquiere alguna mayor dimensión á medida que crece la distancia del prisma, se introduce una lente amplificadora con objeto de que el ojo, aun cuando colocado á corta distancia de la pieza de dispersión, vea el espectro de largo suficiente; de modo que, en vez de observar á la simple vista, se hace uso de un antejo de poder moderado. Este anteojito no sirve exclusivamente para agrandar el espectro, sino también para que el ojo reciba la totalidad de la luz que pasa de la lente colimadora á través del prisma; sin el antejo, tan sólo penetraría en el órgano visual el haz de rayos que tuviera por base la abertura de la pupila.

Dijimos que los rayos coloreados que componen el espectro forman un ángulo con los rayos incidentes que entran en el prisma. Es necesario, por lo tanto, al observar el espectro, que el tubo del antejo dirigido á la cara externa del prisma se coloque en distinta dirección que el tubo que contiene la ranura y la lente colimadora. Un espectroscopio de esta clase es el que representa la figura esquemática 166; la luz emitida por L, después de pasar por la ranura *s* y la lente colimadora *l*, llega al prisma *p* en rayos paralelos; en éste se refringe y descompone á un mismo tiempo, y forma, por tanto, el espectro *S*, que se ve en el antejo *F*, en una dirección muy diferente de la del tubo *s*.

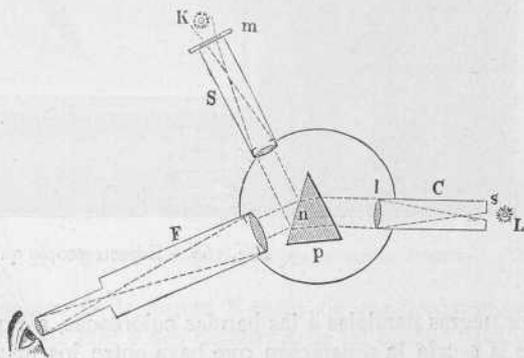


Fig. 167. - Escala graduada del espectroscopio

Para poder determinar la posición de las rayas del espectro, lleva el aparato un tercer tubo *S'* que con los demás va fijo al pie del instrumento (fig. 167), pudiendo girar en un plano horizontal; en el extremo de este tubo se adapta una escala dividida en milímetros *m*, fotografiada en una lámina de cristal; el tubo

S' está inclinado de tal manera respecto de la superficie del prisma n á la cual se dirige el anteojo, que sus ejes forman un mismo ángulo con la superficie del prisma; en consecuencia, la escala m , siguiendo las leyes de la reflexión de la luz, se refleja en la cara externa y pulimentada del prisma, en la dirección del eje del anteojo F, donde aparece su imagen ampliificada, al mismo tiempo que el espectro; la escala m se ilumina con una bujía k , de modo que su imagen se vea con perfecta claridad en todo el largo del espectro, apareciendo sus divisio-

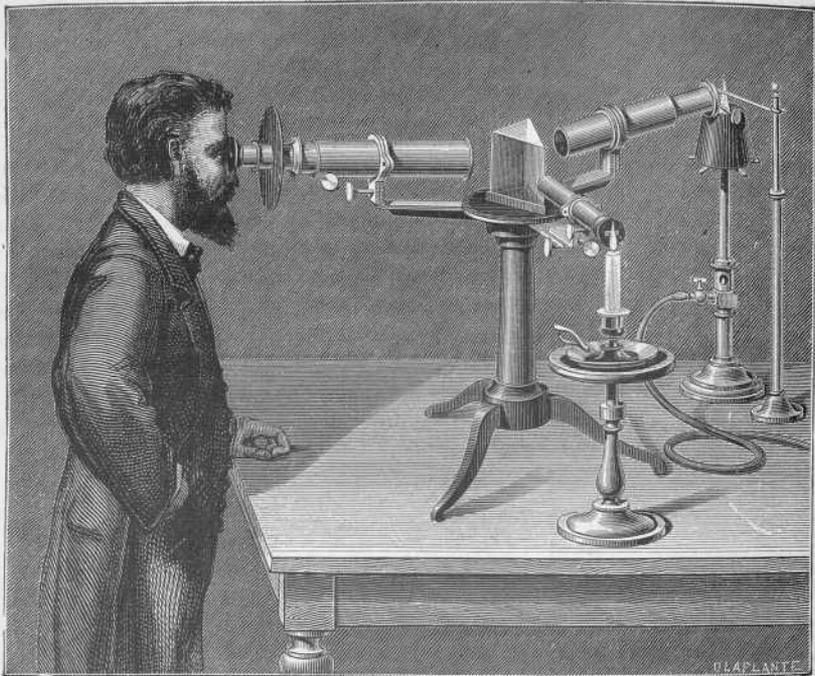


Fig. 168. — Espectroscopio químico

nes negras paralelas á las bandas coloreadas, así que es muy fácil leer en partes de la escala la separación que haya entre los matices del espectro. La fig. 168 representa en perspectiva y completo el espectroscopio que acabamos de describir, que también se llama químico por la gran aplicación que tiene en los laboratorios.

El espectroscopio simple tiene el inconveniente de que, al efectuar un trabajo de análisis espectral, no se mira exactamente en la dirección de la luz, y por consiguiente, no se encuentra el espectro sino después de buscarlo por algún tiempo, para lo cual hay que variar las posiciones relativas del colimador y del analizador. Mucho más cómodo resulta un espectroscopio que tenga en línea recta la ranura, las lentes, el prisma y el anteojo, pues con tal disposición sólo

se necesita mirar directamente al foco luminoso que se quiera examinar, para distinguir el espectro.

Amici, famoso óptico italiano, fué el primero que construyó un espectroscopio de esta clase, combinando dos prismas de crown con un tercero de flint interpuesto. En este sistema los rayos de refrangibilidad media no sufren divergencia, así que el espectro de un objeto luminoso puede verse en dirección rectilínea, porque la dispersión producida por el prisma de flint en un sentido, es mayor que la ocasionada por los dos prismas de crown en la dirección opuesta.

El óptico de París Hofmann, utilizando el principio de Amici, construyó un espectroscopio de visión directa, que así se llaman estos instrumentos, de múltiples aplicaciones. Su aspecto es el de un pequeño antejo común (figura 169), y puede tenerse á la mano para observar, ó colocarlo sobre un pie giratorio, si se desea mayor estabilidad; el dibujo muestra las diversas piezas que componen el aparato en sus posiciones respectivas. En la extremidad que se dirige hacia la luz que ha de examinarse, se encuentra la ranura S, formada por dos láminas de acero que pueden separarse ó unirse por, medio del tornillo V y de un muelle antagonista. En L va la lente colimadora L, cuyo oficio es

hacer paralelos los rayos divergentes de la ranura S antes de que penetren en el sistema de cinco prismas p , tres de flint y dos de crown, de tal modo tallados y combinados, que los rayos coloreados centrales emergentes son precisamente prolongación del haz incidente, y por lo tanto, pasa en línea recta por el tubo L, G, M, O, en el cual ocupan los prismas el espacio comprendido entre L y G. Las lentes a' y a , detrás de S, forman el objetivo y las o' o el ocular del antejo que sirve para observar el espectro formado; estas últimas lentes van insertas en un tubo de corredera para que pueda enfocarse el antejo, según la vista del observador, y según también la región del espectro que se examine.

Los prismas de crown que se emplean para corregir la desviación de los rayos, absorben luz, y por consiguiente, debilitan el espectro; por eso cuando se quiere obtener una dispersión considerable, empleando numerosos prismas, se

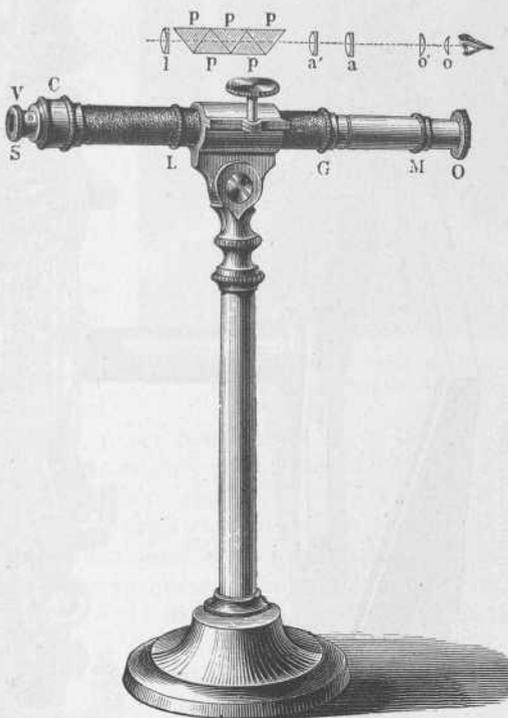
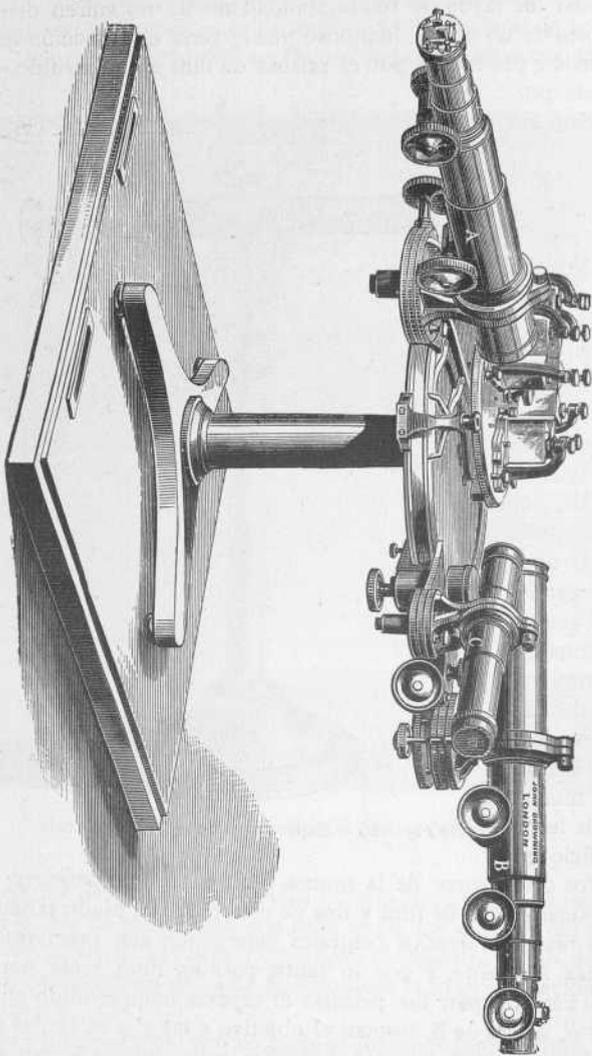


Fig. 169 - Espectroscopio de visión directa

acude al primer sistema del espectroscopio simple. Así se han construido espectroscopios de cuatro, seis y hasta once prismas, no sólo de flint, sino también de sulfuro de carbono.

La fig. 170 representa uno de los grandes espectroscopios construidos en In-

Fig. 170 - Gran espectroscopio de Kew



glaterra y destinado á estudios físicos y químicos, que posee el Observatorio de Kew, y en la figura 171 se representa la marcha que siguen los rayos de luz que, procedentes de la ranura, salen del colimador A, atraviesan la batería de nueve prismas, describiendo una conferencia completa, y entran en el antejo analizador B.

En estos grandes instrumentos no basta, para medir las rayas del espectro, la escala permanente que describimos al hablar del espectroscopio simple; hay otro sistema preferible, que consiste en una marca ó señal fija de tal ó cual clase, como, por ejemplo, un alambre muy fino, una cruz filar, ó también una línea brillante, que en una armadura pueda correr á lo largo

del espectro por la parte interna del antejo analizador; este aparato se llama micrómetro, y se compone, esencialmente, de la pieza de corredera *a* (fig. 172) que lleva una hendidura con un hilo muy delgado, un bastidor *bb* y un tornillo de paso finísimo *d*, cuya cabeza *c* está dividida como un círculo graduado y pasa muy cerca de una reglita *n*, con la cual pueden medirse partes de una re-

volución, mientras que el número de revoluciones completas se registra por medio del indicador de la corredera *a* al pasar por las divisiones del bastidor *b b*. Con este micrómetro se aprecian centésimas de milímetro.

Todos los cuerpos sólidos ó líquidos cuya temperatura se eleva lo bastante para hacerlos incandescentes y que emitan luz, examinados con el espectroscopio, presentan un espectro continuo, esto es, un espectro con los colores del iris, empezando en el rojo y concluyendo en el violeta, pero sin rayas negras, como el espectro solar. Se parecen tanto unos á otros, que sólo se les puede diferenciar en muy determinados casos; la luz oxhídrica, la de un alambre de platino puesto incandescente por el paso de la corriente eléctrica, la de magnesio ó la llama de gas del alumbrado, analizadas con el prisma, ofrecen siempre un espectro continuo, con la única diferencia de que los colores no se hallan constantemente distribuídos en igual

proporción en cada espectro particular, y, por consiguiente, según la clase de cuerpo empleado, predomina el rojo unas veces, y otras el amarillo ó el violeta. Únicamente en algunos casos muy especiales, emiten los cuerpos sólidos con algún predominio rayos coloreados y particulares, como ocurre con el *erbio*, substancia rarísima. Es posible, pues, establecer como regla general que todo espectro continuo en el que no se observen

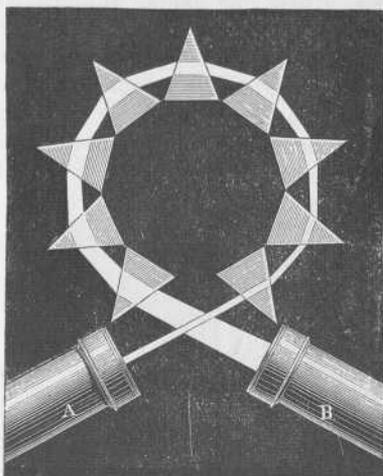


Fig. 171. - Curso de los rayos luminosos á través de nueve prismas

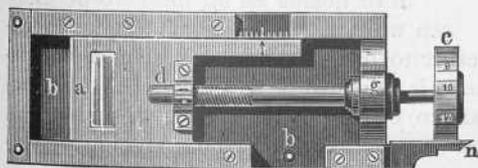


Fig. 172. - Micrómetro para medir las distancias de las líneas del espectro

líneas brillantes ni negras, ni bandas oscuras, y que contenga todos los matices del iris, está producido por un cuerpo sólido ó líquido incandescente.

Por el contrario, los espectros de los gases luminosos son muy diversos, y en vez de la continua y no interrumpida sucesión de colores, se distinguen en la banda prismática líneas brillantes coloreadas, separadas unas de otras por espacios oscuros. Como la mayor parte de los cuerpos de la naturaleza son sólidos ó líquidos, la primera operación que tenemos que efectuar para analizarlos espectroscópicamente es la de reducirlos al estado gaseoso.

La temperatura á que se volatilizan los cuerpos es muy variable; para algunos basta el calor de una lámpara común de alcohol, como por ejemplo, para el potasio, el sodio, etc.; mas para los metales pesados especialmente y sus compuestos, es indispensable la poderosa temperatura de la chispa eléctrica. En mu-

chos casos, sin embargo, basta con el calor que desarrolla la llama no luminosa del mechero de Bunsen para volatilizar las substancias que se someten al análisis, y para que emitan suficiente luz, presentando un espectro brillante. Los cuerpos que han de analizarse se reducen al estado de cloruros disueltos, y de ellos se toma una perla, con un alambre de platino, masticado en un tubito de cristal que le sirve de mango; se coloca el alambre de platino con la gota de la disolución en la llama, como indica la figura 173, y al volatilizarse, se examina el espectro rápidamente, pues la substancia se evapora de seguida. Hay, sin embargo, procedimientos como el que representa la disposición de la figura 174, que permiten obtener espectros permanentes.

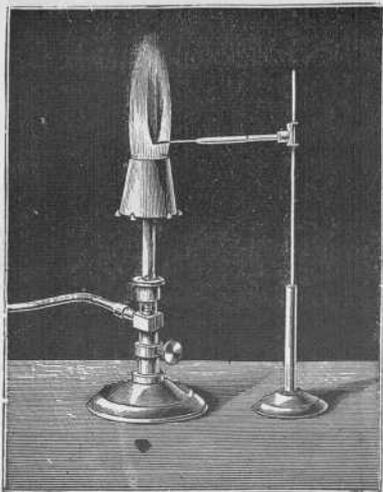


Fig. 173. - Mechero de Bunsen dispuesto para el análisis espectral

Cuando los cuerpos que se trata de analizar sólo se volatilizan á temperaturas muy elevadas, se acude al empleo de corrientes eléctricas poderosas, bien producidas en el laboratorio con una batería de pilas y carrete de inducción y condensadores, como se ve en la figura 175, bien tomándolas de la distribución pública. Este método se emplea preferentemente con los metales.

Para investigar el espectro de los gases, se hace uso generalmente de los tubos representados en la figura 176; cada tubo está lleno de un gas distinto en extremo rarificado; se hace pasar una corriente eléctrica por el tubo, el gas se ilumina, y se analiza en la porción estrecha comprendida entre *a* y *b*.

Si se quema en un mechero de Bunsen un poco de sal común, emite la llama un vivo color, produciendo su espectro una sola línea amarilla, característica; el potasio da una raya roja, que es la principal de su espectro; el talio, metal descubierto con este sistema analítico, ofrece una hermosa línea verde.

Los gases presentan espectros con líneas y bandas brillantes; en el hidrógeno se ven seis grupos de líneas verdes, que se modifican según varía la presión; el oxígeno, con presión débil, da un espectro de bandas, y con presión fuerte, lineal, que se extingue por completo con presión aún más fuerte.

Estas líneas se llaman características por ser muy adecuadas para reconocer los cuerpos que las producen, y según su brillo se les designa por las letras del alfabeto griego y el símbolo químico; así, H alfa se refiere á la línea roja, que es la más intensa del espectro del hidrógeno.

Gracias al estudio cuidadoso y prolijo que se ha hecho de las líneas espectrales de todas las substancias conocidas, no sólo en cuanto á su brillo, sino también á la medición exacta de sus distancias relativas, se han podido ejecutar dibujos en los que se señala con todo esmero la posición y número de las rayas y todos los caracteres peculiares de cada espectro.

Con preferencia al sistema de proyección de una escala de que antes hablamos, se usa un ingenioso artificio, que consiste en producir dos espectros yuxtapuestos en el mismo antejo analizador; uno el de la substancia que se estudia, y el otro, el de un cuerpo conocido; para esto, la mitad superior de la ranura del espectroscopio permanece libre, y la mitad inferior lleva un prisma de reflexión total que envía al prisma analizador la luz de la substancia conocida que va á servir de comparación, como muestra la figura 177, en la que F es el foco luminoso de donde parten los rayos que atraviesan los prismas, pasando por la mitad superior de la ranura, por encima del pequeño prisma; á un lado, y á la misma altura que este último, se coloca la llama L, bien de un mechero de Bunsen, ó de una lámpara de alcohol, en la cual se volatiliza la substancia cuyo espectro se necesita para compararlo con el que forma la luz F. Los rayos de L hieren en ángulo recto la superficie *df* y se reflejan en totalidad, como en un espejo,

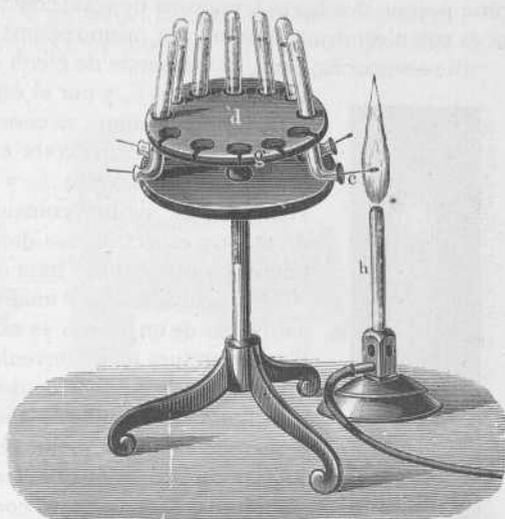


Fig. 174. - Aparato de Mitscherlich para obtener espectros permanentes

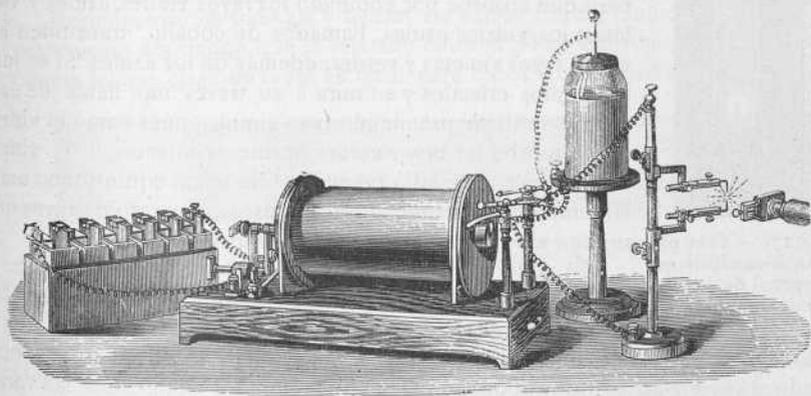


Fig. 175. - Aparato eléctrico dispuesto para el análisis espectral de los metales

en el prisma pequeño; pasan por la mitad inferior de la ranura, y se descomponen al atravesar el prisma de refracción. De este modo, los espectros *o* y *u* de las dos llamas F y L se ven yuxtapuestos en el mismo campo, como indica el grabado, en el que para mayor claridad se representan proyectados en una pantalla. Si se

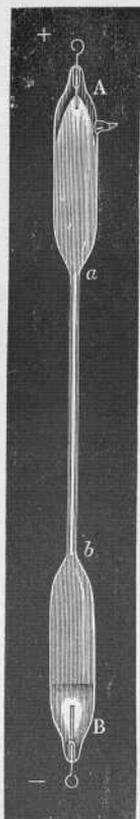
volatiliza la misma substancia en las dos llamas F y L, las líneas correspondientes de uno de los espectros se encontrarán en la prolongación exacta de las del otro, porque dos haces luminosos de igual constitución producen espectros idénticos con una misma abertura, un mismo prisma y la misma posición del antejo.

Si se sospecha, pues, la existencia de cierta substancia en una de las llamas, verbigracia, en F, y por el espectro que se recibe por la mitad superior de la ranura se conciben dudas acerca de su naturaleza, se volatiliza una corta cantidad de la substancia supuesta en la segunda llama L, y se comparan los dos espectros yuxtapuestos. Si hay coincidencia completa entre las líneas de ambos espectros, los dos pertenecen á una misma substancia; en otro caso se trata de cuerpos de distinta naturaleza.

La delicadeza del análisis espectral para determinar la existencia de un cuerpo es extraordinaria, si bien exige elegir la temperatura más conveniente en cada caso, lo cual se demuestra, verbigracia, con el estroncio; si tomamos $\frac{1}{100}$ de milígramo de este metal, cantidad que es posible apreciar por el método analítico químico ordinario, empleando el mechero de Bunsen podremos obtener su espectro con $\frac{1}{300}$ de esta insignificante fracción; pero con la chispa eléctrica tan sólo necesitamos $\frac{1}{8000}$ parte para que el espectro nos revele con toda certidumbre la existencia de la substancia.

Si examinamos con el espectroscopio la luz transmitida por cristales de colores, rojos, verdes, azules, etc., se verá en seguida que el cristal encarnado, verbigracia, deja pasar algunos rayos anaranjados y aun amarillos, además de los rojos, pero que absorbe por completo los rayos verdes, azules y violetas; los vidrios azules, llamados de cobalto, transmiten algunos rayos violetas y verdes, además de los azules. Si se juntan ambos cristales y se mira á su través una llama de gas, apenas se distingue ningún rayo simple, pues como el vidrio rojo absorbe los rayos verdes, azules y violetas, y el vidrio azul los rojos, tan sólo percibimos la llama con un tono amarillo muy débil, producido por el escaso número de rayos que no han sido absorbidos ni por un vidrio, ni por otro.

Fig. 176. — Tubo para el análisis espectral de los gases.



El poder absorbente de los líquidos coloreados es, por lo general, mucho más marcado que en los vidrios de color. No se ha encontrado ninguno, hasta el presente, que absorba ó transmita una sola clase de rayos de color. Gran número de físicos se han ocupado en averiguar en qué proporción afectan los líquidos coloreados las varias regiones del espectro continuo. Los experimentos se hacen colocando las disoluciones de los cuerpos, cuya absorción se quiere estudiar, en unas cápsulas rectangulares de caras planas y paralelas de cristal, y sobre ellas se concentra la luz por los medios ya conocidos.

El espectro de absorción de una disolución de sangre se compone de dos bandas muy oscuras en la parte más luminosa, ó sea en el amarillo (fig. 178).

Los gases coloreados obran de un modo análogo á los líquidos; colocando en el trayecto de los rayos luminosos, entre la fuente de luz y el prisma, una pequeña cantidad de ácido hiponítrico, el cual, en el momento en que se pone en contacto con el aire, da origen á un humo denso y rutilante, aparecen en el espectro multitud de líneas negras muy finas (fig. 179, n.º 2). El yodo es una

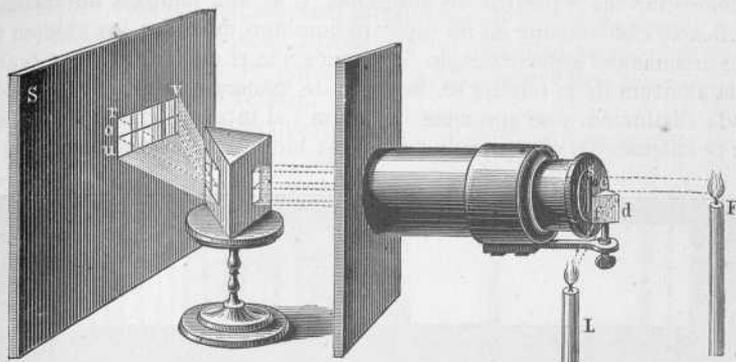


Fig. 177. - Espectro doble y prisma de reflexión total

substancia que también emite vapor coloreado cuyo espectro se representa en el n.º 1 de la citada figura 179.

Los gases incoloros sólo se manifiestan debilitando la intensidad de la luz que los atraviesa, sin ejercer absorción alguna sobre ningún rayo particular, á menos de que su espesor no sea muy considerable. El vapor de agua ejerce también acción absorbente sobre la luz, y sus líneas de absorción son muy notables en el espectro solar y en la luz difusa del día.

Resumiendo los trabajos y teorías de varios físicos, enunció Kirchhoff una proposición afirmando que la relación entre el poder emisor y el de absorción de una misma clase de rayos es igual para todos los cuerpos á una misma tem-



Fig. 178 - Espectro de absorción de la sangre

peratura; de esta ley se desprende, como consecuencia necesaria, que los gases y vapores, al transmitir la luz, absorben ó separan precisamente aquellos rayos coloreados que ellos mismos emiten cuando se les hace luminosos, al paso que permanecen transparentes en absoluto para todos los demás rayos de color. El vapor de sodio luminoso da en circunstancias ordinarias, como sabemos, un espectro que consiste en una línea doble amarilla muy brillante, y, por lo tanto, la luz que emite es exclusivamente amarilla. Si la luz blanca del Sol, del arco eléctrico ó de la lámpara oxhídrica se hace pasar á través del vapor de sodio, este gas extinguirá ó absorberá de la luz blanca, precisamente los rayos lumino-

sos amarillos que emita; mientras que la mayor parte de estos rayos amarillos son absorbidos por el vapor de sodio, todos los demás rayos, rojos, anaranjados, verdes, azules y violetas, pasan sin modificación.

El método de que se valió Kirchhoff para realizar sus experimentos, se indica suficientemente en la fig. 180; el aparato está dispuesto de igual manera que para demostrar los espectros de absorción. L es una lámpara de aceite, cuya luz blanca se descompone en un espectro continuo de todos los colores por el tren de prismas del espectroscopio S; después que el ocular del antejo analizador y la abertura de la rendija se disponen de manera que el espectro aparezca con toda distinción, y se aproxima la ranura *s* al tubo de cristal N, del que se expelle el oxígeno del aire introduciendo gas hidrógeno y unos pedacitos de so-

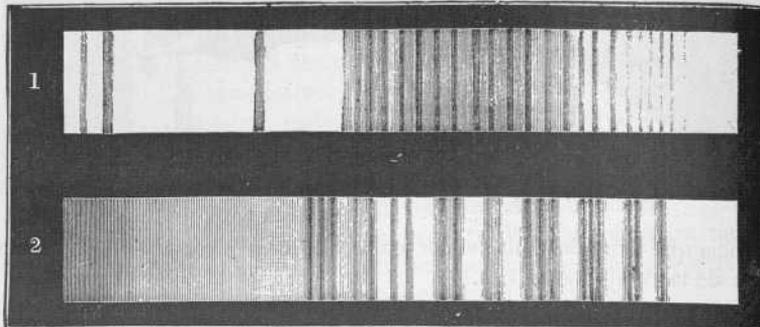


Fig. 179. — Espectros de absorción del yodo y de los vapores nitrosos

dio metálico, se caldea el tubo con el mechero de gas G, y una parte del sodio se convierte en vapor; aparece una línea negra en la parte amarilla brillante del espectro continuo de la lámpara de aceite, en el lugar precisamente en que se muestra la raya brillante del vapor de sodio luminoso; para probar esto, basta con substituir el tubo N por una lamparilla de alcohol, cuya mecha se haya empapado en salmuera, ocultando al propio tiempo la luz de la lámpara; el vapor luminoso del sodio da lugar á la línea amarilla, en el mismo sitio precisamente en que antes era absorbida la luz de este color del espectro continuo, formándose la línea negra, que se ve doble, empleando un espectroscopio de cierta potencia, lo mismo que la línea amarilla brillante.

De igual manera, con el empleo de los vapores de litio, potasio, estroncio y bario, consiguieron Kirchhoff y Bunsen extinguir en el espectro continuo las rayas brillantes que emiten los gases de estos metales en estado luminoso.

El vapor incandescente del litio da una raya roja muy intensa y otra más débil anaranjada, las cuales pasan á ser negras en el espectro de absorción de esta misma substancia. Si se repite el experimento de Kirchhoff con el litio, de igual manera que con el sodio, aparecerán dos líneas negras de distinta profundidad en el espectro continuo de la luz de la lámpara, precisamente en las mismas posiciones que ocupaban las rayas brillantes del vapor luminoso de este metal.

El resultado más importante de estas investigaciones consiste, pues, en que las líneas brillantes características del sodio, litio, etc., se convierten en líneas negras cuando la intensa luz blanca de un cuerpo sólido ó líquido incandescente pasa á través del vapor de estos metales. Como las líneas brillantes del espectro de los gases se convierten en estos experimentos en rayas negras, mientras que las porciones oscuras del espectro se cambian en colores brillantes por el espectro continuo de la luz blanca, parece que los espectros gaseosos se invierten en su iluminación respectiva; por tal motivo se llama este fenómeno *inversión del espectro*, según propuso Kirchoff.

Demostó este mismo físico que la diferencia entre la temperatura de los cuerpos sólidos ó líquidos que producen los espectros continuos, y la de los vapores absorbentes á cuyo través pasa la luz blanca, ejerce un gran influjo en la inversión del espectro, y que todo el fenómeno depende de la relación que exis-

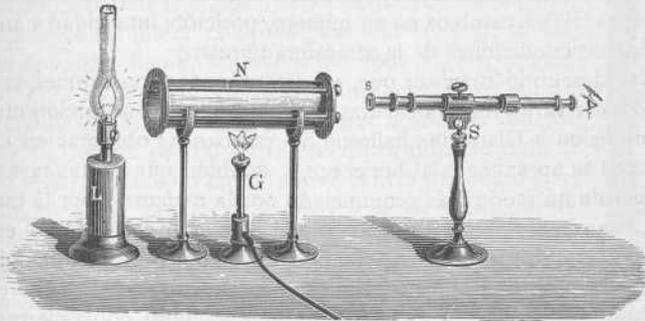


Fig. 180. — Inversión de la línea del sodio

te entre los poderes emisor y absorbente del vapor, cuya relación se determina por la diferencia de temperatura. Los experimentos de inversión, por lo tanto, tienen lugar únicamente cuando hay una gran diferencia de temperatura entre el cuerpo sólido en estado de incandescencia y el vapor absorbente.

Podemos ahora predecir el aspecto que presentará en el espectroscopio la luz de un cuerpo sólido ó líquido incandescente, si antes de penetrar por la ranura del instrumento pasa á través de una atmósfera relativamente fría de tal ó cual vapor, como, verbigracia, de sodio, litio, hierro, etc. El cuerpo incandescente produciría un espectro continuo, si su luz no experimentase modificación alguna en su camino; mas en la atmósfera vaporosa por que deben pasar sus rayos, cada vapor absorbe precisamente aquellos rayos que hubiera emitido en estado luminoso, extinguiendo, por consecuencia, estos colores particulares y substituyéndolos por bandas oscuras en los mismos puntos del espectro continuo en que se hubieran manifestado líneas brillantes. De modo que el espectroscopio nos muestra un espectro continuo que se extiende del rojo al violeta, pasando por todos los colores intermedios, cruzado perpendicularmente por numerosas líneas negras; la del sodio, las dos del litio, las infinitas del hierro, etc., aparecen en el fondo coloreado del espectro continuo como otras tantas rayas negras.

Los espectros de esta clase son, sin duda alguna, espectros de absorción, y,

por lo tanto, se llaman espectros compuestos ó invertidos. Si se llega á establecer una coincidencia perfecta en esta clase de espectros por medio del prisma de comparación ó de la escala dividida, entre las líneas características brillantes del espectro gaseoso de ciertas substancias, con igual número de rayas negras, puede admitirse como conclusión que en la atmósfera absorbente que produce las líneas negras se encierra la misma substancia en estado de vapor.

La importancia capital de este resultado de los trabajos de Kirchhoff en las investigaciones sobre la constitución física de los cuerpos celestes, apenas hay necesidad de demostrarla, si se considera que, así como es posible determinar la naturaleza de tal ó cual substancia terrestre por la calidad de su espectro gaseoso, del propio modo, el espectro invertido de los gases nos da la clave para reconocer la naturaleza y composición de los cuerpos celestes.

El físico italiano Zantedeschi, de quien antes hicimos mención, fué el primero en notar que todas las líneas oscuras del espectro solar no son invariables, y que ocurren ciertos cambios en su número, posición, intensidad y anchura, según las diversas condiciones de la atmósfera terrestre.

En 1832 descubrió Brewster que, en determinadas condiciones, se veían en el espectro solar varias líneas oscuras producidas por la absorción atmosférica. Este mismo físico y Gladstone hallaron nuevas bandas oscuras en el espectro cuando el Sol se aproximaba al horizonte, y también que ciertas rayas oscuras se marcaban de un modo más pronunciado por la mañana y por la tarde que al mediodía, cuando el Sol se hallaba en mitad de su carrera; como al estar el Sol cerca del horizonte tienen que atravesar sus rayos una capa de aire quince veces más densa que cuando el mismo astro se encuentra á gran altura en el meridiano, ocurrióse á estos físicos que el aire, aunque incoloro, podía ejercer cierto influjo absorbente sobre la luz y detener el paso de los rayos, lo propio que sucede con los vapores, en proporción con el espesor y la densidad de la capa atmosférica.

El espectro solar publicado por Brewster y Gladstone en 1860, de unos dos metros de longitud, contiene más de 2.000 líneas ó bandas oscuras visibles, y que con facilidad se distinguen unas de otras. La extremidad violeta tiene igual extensión que en el mapa de Fraunhofer, pero la región del rojo es mucho más grande que en el de este último; las líneas de Fraunhofer conservan su denominación original de A, a, B, etc., al paso que las líneas y bandas interpuestas entre ellas, y que fácilmente se separan unas de otras, se señalan con números detrás de las letras A, B, C, etc., sucesivamente hacia el violeta. El espectro solar que representa la figura 181 es una copia reducida del mapa que publicó Brewster, é indica, no sólo las líneas de Fraunhofer, sino también todas las rayas y bandas variables de más ó menos importancia, que se perciben sin grande esfuerzo y que en la figura se marcan con caracteres griegos; los números se han omitido para evitar confusión. El grabado representa el espectro solar cuando el astro del día se halla muy cerca del horizonte; todas las líneas y bandas marcadas con caracteres griegos desaparecen del espectro, ó se debilitan mucho cuando menos, á medida que el Sol se eleva; Brewster y Gladstone dieron á estas bandas el nombre de líneas atmosféricas, para indicar que estaban formadas por la absorción de la atmósfera terrestre sobre los rayos luminosos; no llegaron es-

bandas muy oscuras, las cuales se marcan con mucha menor distinción si el tono del cielo es amarillo.

De las investigaciones de Brewster y Gladstone se ocupó con grande esmero el físico francés Janssen en 1864, con objeto de descubrir qué cuerpo de la atmósfera producía estas rayas de absorción del espectro solar. Con un instrumento que él mismo ideó, compuesto de cinco prismas, consiguió reducir las bandas oscuras observadas por los físicos ingleses, á líneas muy finas, averiguando, al propio tiempo, que su intensidad era en extremo variable. Halló también que eran más profundas al orto y al ocaso del Sol que en medio del día, pero que nunca llegaban á desaparecer completamente del espectro, cambio periódico que demostraba su origen atmosférico. Para obtener pruebas aún más

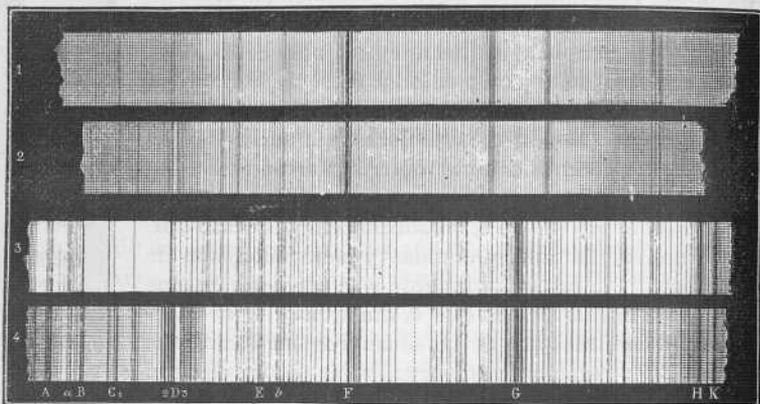


Fig. 182. - Bandas telúricas según Janssen: 1, Espectro de Sirio en el meridiano; 2, ídem en el horizonte; 3, espectro del Sol en el meridiano; 4, ídem en el horizonte

decisivas sobre este punto, resolvió Janssen proseguir sus observaciones del espectro solar en la cumbre de alguna elevada montaña, donde el influjo absorbente del estrato inferior y más denso de la atmósfera quedase excluído, y donde, por consiguiente, se manifestasen los fenómenos de absorción en grado mucho menor que en el llano.

Con tal objeto, en el año de 1864, permaneció Janssen durante una semana en la cúspide del Faulhorn, á una altura de tres mil metros sobre el nivel del mar; sus observaciones le demostraron que las líneas oscuras variables del espectro solar eran mucho más débiles que las que se distinguían en el valle.

En el mes de octubre de 1864 se incendió casualmente una gran cantidad de madera de pino, apilada en las inmediaciones de Ginebra, á una distancia de 21 kilómetros del puesto de observación de Janssen, cuyo accidente le permitió analizar el espectro de esta gigantesca llama; en las inmediaciones de la hoguera se observaba un espectro continuo, sin líneas oscuras, pero á la distancia que hemos mencionado aparecían algunas de las líneas señaladas por Brewster en el espectro del Sol poniente.

Todas estas pruebas demostraban, pues, la acción evidente de nuestra at-

mósfera y el doble origen de las líneas del espectro solar, y trató Janssen de determinar los elementos que producían este efecto.

Sospechó que el vapor de agua disuelto en nuestra atmósfera desempeñaba una parte muy importante, si no total, en la producción de las rayas telúricas del espectro solar; en efecto, las continuadas observaciones verificadas en diversas épocas del año, como llevamos dicho, indicaban claramente que para unas mismas alturas de Sol ciertas rayas del espectro eran tanto más profundas cuanto más elevado era el punto de condensación del rocío.

También extendió sus investigaciones á la luz de la Luna y de las estrellas fijas con objeto de averiguar si la luz estelar, distinta de la del Sol, se hallaba sujeta á cambios semejantes al atravesar la atmósfera de la Tierra. Con tal propósito adaptó un pequeño espectroscopio de visión directa á un antejo astronómico de gran potencia, y examinó el espectro de Sirio en el momento en que esta estrella aparecía sobre el horizonte, distinguiendo varias bandas oscuras que, según demostraron las medidas, ocupaban exactamente el mismo lugar que las bandas del espectro del Sol, á su orto y á su ocaso. A medida que aumentaba la altura de Sirio, disminuía la intensidad de estas líneas telúricas de un modo gradual, desapareciendo completamente cuando la estrella cruzaba el meridiano.

La fig. 182 representa los espectros del Sol y de Sirio según se ven en el pequeño espectroscopio cuando estos astros se encuentran cerca del horizonte y en el meridiano. Las bandas telúricas se reconocen en seguida comparando los dos espectros del mismo objeto; las bandas oscuras señaladas 1, 2 y 3 corresponden evidentemente al espectro de absorción y son comunes al Sol y á Sirio, cuando están cerca del horizonte.

CAPITULO III

ESPECTROMETRÍA ASTRONÓMICA

Tele-espectroscopios. - Análisis espectral de las manchas solares. - Análisis espectral de la Luna y los planetas. - Observaciones espectrales de las protuberancias solares. - Estructura y modificaciones de las protuberancias. - Espectros de las estrellas fijas - Espectro de las estrellas efímeras. - Espectros cometarios. - Espectros de las estrellas fugaces.

Los espectroscopios que hemos estudiado en el capítulo anterior pueden servir, y han servido en efecto, para el análisis de la luz de los astros, pero naturalmente, con algunas modificaciones en su construcción, según que se destinan al estudio de cuerpos muy luminosos como el Sol, ó que presentan diámetros sensibles, verbigracia los planetas, ó débiles y sin dimensiones aparentes, á saber, las estrellas. En todos los casos se adaptan á telescopios poderosos, que den una imagen ampliada del cuerpo ó accidente que se trata de estudiar.

En la fig. 183 se representa el instrumento con que el famoso astrónomo inglés Lockyer ha realizado la mayor parte de sus importantes descubrimientos. T es el tubo de un anteojo astronómico de 16 centímetros de abertura, montado ecuatorialmente sobre el pie P; S es el buscador, C la varilla ó palanca de movimiento, L el tubo portaoculares; *c* la platina del espectroscopio de siete prismas, que va unida al anteojo por medio de las barras *a*, *a* y *b*; *d* el tubo colimador con la ranura; *e* el anteojo analizador del espectro, provisto de un ocular micrométrico, y *h* otro anteojo para leer las divisiones de la platina.

Úsanse mucho también los espectroscopios de visión directa; en la fig. 184 se representa la construcción interior de un instrumento de esta clase, según los fabrica la acreditada casa de Merz, de Munich. El sistema de prismas P tiene un poder dispersivo considerable, tanto que el ángulo entre las líneas D y H del espectro solar es igual á 8° ; la lente colimadora se coloca en C; una mitad de la ranura *s s*, que se ajusta por medio del tornillo S, se halla cubierta por el prisma de reflexión total *r*, que recibe la luz de comparación, bien sea de una llama ó de un tubo de Geisser, del lado opuesto á aquel en que se encuentra el tornillo S: L es una lente cilíndrica que se emplea en las observaciones estelares, pero que se omite al estudiar el espectro de los astros de diámetro sensible; el anteojo F, cuyo objetivo tiene unos 10 centímetros de distancia focal y una abertura de 16 milímetros, lleva un ocular positivo O y un micrómetro de puntas *m*, *n*: por medio del tornillo *g*, el tubo F, por la presión del muelle antagonista *f*, puede girar hacia ambos lados y quedar fijo en la posición que se desee, desde el extremo rojo del espectro hasta el violeta.

En otro sistema de aparatos, se coloca el prisma analizador delante del objetivo del anteojo, y por eso se llama este instrumento *espectroscopio objetivo*, y tam-

bién pero por otra razón, *espectroscopio diferencial*. En la fig. 185 se representa el aparato completo, dispuesto para adaptarlo al objetivo de un refractor, y en la figura 186 el prisma separado de la guarnición.

El prisma P va montado en un aro metálico que gira en un eje horizontal, y por medio de los topes laterales *a a*, que se insertan en los tornillos *b b*, puede adaptarse á un segundo anillo; este anillo externo gira alrededor de la caja que contiene todo el aparato, de manera que el prisma llegue á tomar todas las posiciones que se deseen y forme todos los ángulos posibles respecto del objetivo

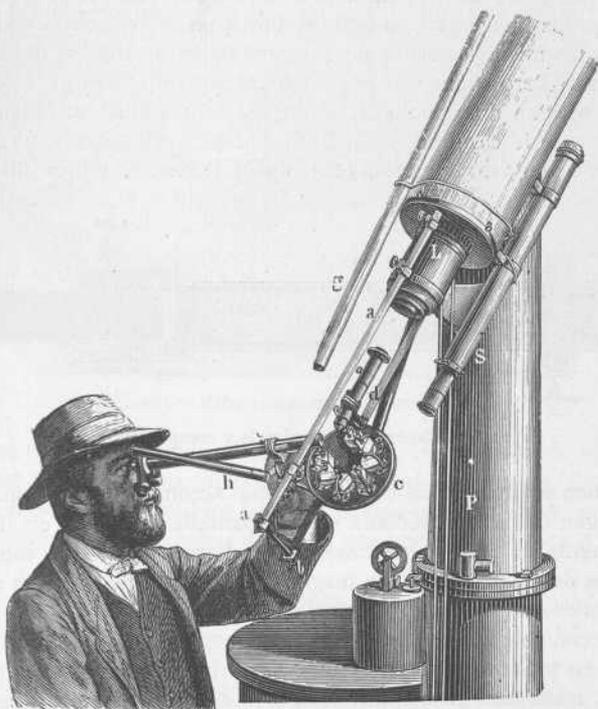


Fig. 183. — Tele-espectroscopio de Lockyer

ó del eje del anteojo. Puesto que los rayos que caen sobre el objetivo se refringen por el prisma, no se puede apuntar directamente el eje del refractor á la estrella, verbigracia, que se deseé observar, y para encontrarla con facilidad, en la caja hay una abertura *c*, por la cual se columbra la estrella directamente.

El prisma tiene un ángulo de refracción de 12° ; está hecho de vidrio flint puro y sin color, para que la pérdida de luz sea lo menor posible y en efecto, es casi inapreciable.

Los procedimientos ordinarios del análisis espectral nos revelan el conjunto de rayos que emanan del Sol después de haber atravesado su atmósfera; pero hay motivo para preguntar si todas las regiones del globo solar emiten rayos

inundadas por la luz deslumbradora del Sol, todo lo más que llegan á producir es un efecto igual y contrario al de la capa absorbente que las rodea. Cuando son bastante vivas, pueden producir un efecto más considerable y manifestar su presencia por líneas brillantes, lo cual ocurre con gran frecuencia.

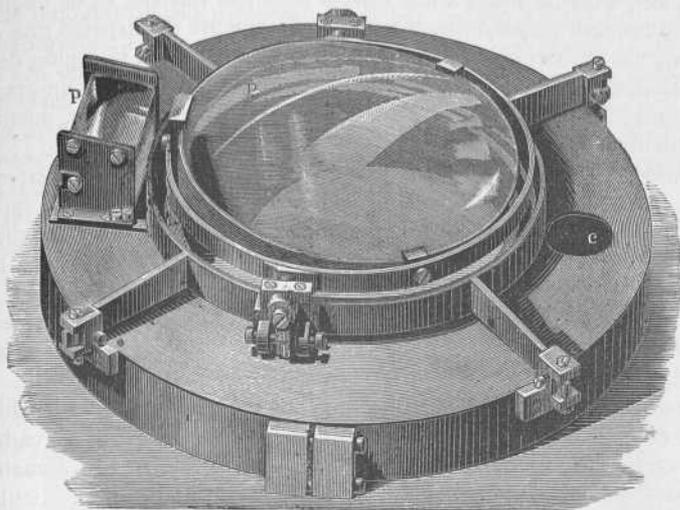


Fig. 185. - Espectroscopio objetivo de Merz

Al hallarse una mancha muy cerca del borde, con frecuencia se ven las líneas brillantes del hidrógeno como sobrepuestas al disco solar, prolongándose por un espacio de varios segundos hasta el núcleo obscuro, en el cual se detienen bruscamente. En las manchas cruzadas por puentes gaseosos ó que presen-

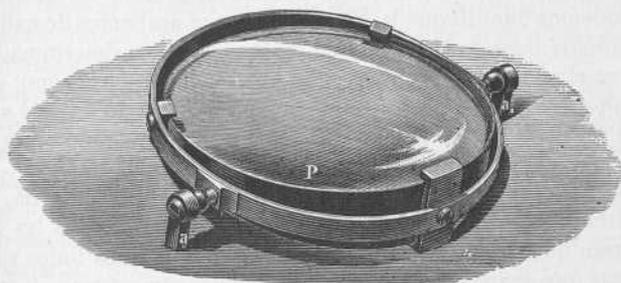


Fig. 186. - Objetivo-prisma de Merz

tan velos rosados, aparece la raya C muy reducida, y aun llega á invertirse por completo en algunos casos.

Las modificaciones que experimenta el espectro en el interior de las manchas son muy notables; desaparece la armonía general, y la proporción en las intensidades luminosas se cambia por completo. Ciertas líneas, que por lo común

apenas son visibles, se hacen muy negras y prolongadas, y otras, por el contrario, pierden la finura de sus contornos, no faltando algunas que permanecen inalterables.

En el espectro general del Sol se distinguen varios sistemas de líneas muy finas y juntas, situadas todas á una misma distancia relativa; se ha dado á estos sistemas el nombre de *persianas* á causa precisamente del aspecto que ofrecen; en las manchas se borran y confunden, particularmente en la región del espectro comprendida entre C y D; en la zona del verde hay también un gran número de sistemas de éstos, que en las manchas se hacen muy negros, mientras que es muy difícil distinguirlos en el resto del disco.

No parece que estos sistemas sean creaciones nuevas particulares de las manchas; pues, por lo común, corresponden con las rayas más finas que señaló Kirrhoff, y las cuales llegan á tomar en las manchas un desarrollo extraordinario, constituyendo un fenómeno característico. No se conocen todavía las substancias que producen estas persianas, pero todo parece indicar que son gaseosas, y aun que el vapor de agua desempeña en la producción del fenómeno una parte importante, pues el P. Secchi pudo observar las mismas apariencias cuando algunas nubes ligeras ó nieblas pasaban por delante del Sol.

Muchas de las rayas que pertenecen á substancias metálicas se dilatan de un modo considerable, conservando, empero, sus bordes bien marcados y sin difusión; en la parte verde hay algunas líneas que se hacen tres ó cuatro veces más anchas cuando las manchas son redondas y profundas, en particular si las líneas pertenecen á los metales hierro y calcio. También se ensanchan las rayas del sodio, pero no como las anteriores, pues sus contornos se hacen difusos, en particular cerca de los bordes. La fig. 187 representa el aspecto de las líneas de absorción del sodio cuando se dirige el espectroscopio á una mancha solar. Si son dos las manchas y están próximas una á otra, toma el espectro la apariencia que marca la fig. 188; los experimentos de Cailletet demuestran que las rayas del sodio se hacen difusas y nebulosas cuando la presión es considerable, de modo que podemos admitir que la dilatación de que acabamos de hablar se debe á la extraordinaria densidad que poseen estos vapores en determinadas circunstancias. No es el sodio el único metal que presenta este fenómeno; en el verde se encuentran rayas que se hacen muy difusas, sobre todo entre *b* y F; pero el sodio ejerce tal predominio sobre los demás, que el intervalo entre dos líneas consecutivas desaparece, en ocasiones, por completo.

Según el P. Secchi, la atmósfera del Sol contiene vapor de agua, lo cual parece muy extraño en vista de su elevadísima temperatura; pero las observaciones demuestran que cerca del borde se perciben los mismos tonos y las mismas bandas difusas que aparecen en el espectro del aire atmosférico, cuando éste se encuentra saturado de humedad, en el momento en que una nube translúcida pasa por delante del disco del Sol.

Toda vez que los planetas y sus satélites carecen de luz propia y sólo brillan por la que reflejan del Sol, deben sus espectros asemejarse mucho al del astro central; las diferencias que pudieran presentar habría que atribuir las exclusivamente á las modificaciones que experimentasen los rayos solares al atravesar las atmósferas de estos cuerpos, ó al reflejarse en su superficie.

Las observaciones de Fraunhofer en 1823, las de Brewster y Gladstone en 1860, y las más recientes de Huggins, Miller, Janssen y otros muchos, demuestran la completa igualdad que existe entre el espectro lunar y el del Sol. Los espectros de las diversas partes de su superficie, examinadas en distintas condiciones de iluminación, no presentan el menor indicio de que la Luna esté dotada de atmósfera. Como sabemos, los rayos solares que hieran la superficie de la Luna son reflejados hacia la Tierra; luego, si la Luna estuviera rodeada de atmósfera, claro es que los rayos solares habrían de pasar primero por ella antes de llegar al suelo, atravesándola de nuevo en su salida al dirigirse á la Tierra, por manera que los rayos lunares que hieren nuestro ojo habrían cruzado la atmósfera lunar dos veces, en todo su espesor.

Si tal atmósfera existiera, el espectro formado por la luz de la Luna, es decir, por la luz del Sol reflejada en nuestro satélite, sufriría ciertas modificaciones

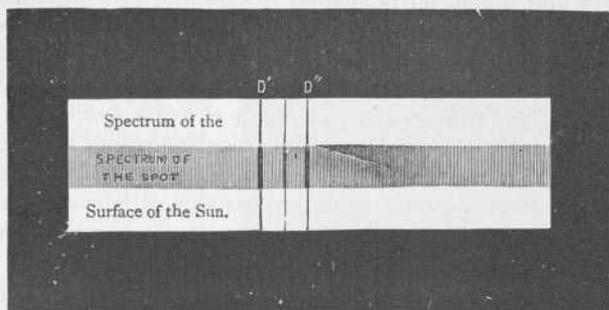


Fig. 187. — Las líneas D en el espectro de una mancha solar

que se manifestarían por la aparición de algunas líneas de absorción, distintas de las que presenta el espectro de la luz solar directa, de igual manera que varían las líneas telúricas según que el Sol atraviesa un estrato más ó menos denso de la atmósfera terrestre.

Guiados por las precedentes consideraciones, los renombrados astrónomos Huggins y Miller emprendieron una serie numerosa de observaciones sobre el espectro de la luz de la Luna, que con todo detalle se especifican en las *Tran-sacciones Filosóficas* del año 1864; la Memoria de estos sabios terminaba con las palabras siguientes: «El análisis espectral de la luz reflejada por la Luna indica que nuestro satélite carece de atmósfera, ó que, de tenerla, ha de ser en extremo baja y rarificada.»

En otra ocasión efectuó el Dr. Huggins varias observaciones análogas sobre el espectro de una estrella en el momento de ser ocultada por la Luna. «Cuando se observa el espectro de una estrella poco antes del momento, ó en el momento mismo, de ser ocultada por el borde oscuro de nuestro satélite, pudieran presentarse algunos fenómenos característicos del paso de la luz de la estrella á través de una atmósfera. Si existe una atmósfera lunar que pueda, ya por las substancias de que esté formada, ya por los vapores que tenga en disolución, ejercer una absorción electiva sobre la luz de la estrella, debería indicarse esta

absorción por la aparición en el espectro de nuevas rayas oscuras, inmediatamente antes de su ocultación por la Luna.

»Si una materia muy finamente dividida, acuosa ó de otro género, existe en torno de la Luna, los rayos rojos de la luz de la estrella tendrían que debilitarse en más pequeño grado que los rayos de mayor refrangibilidad.

»Si hay alrededor del satélite una atmósfera libre de todo vapor y sin poder absorbente, pero de alguna densidad, en este caso, el espectro no se extinguiría por el borde de la Luna en el mismo instante en toda su longitud. Los rayos violetas y azules persistirían después de la desaparición de los rayos rojos.

»Observé con el mayor cuidado la inmersión del espectro de *epsilon* Piscium, en la ocultación del 4 de enero de 1865, con objeto de estudiar este fenómeno, sin percibir el menor vestigio de atmósfera lunar.»

El planeta Mercurio se halla casi siempre envuelto en los rayos solares, por manera que es muy difícil, no ya analizar su espectro, pero ni aun siquiera columbrarlo. Con el espectroscopio se ha examinado al hallarse muy cerca del horizonte, posición muy desfavorable, y nada de particular se ha visto en su atmósfera.

La atmósfera de Venus, según nos revela el análisis espectral, ofrece una composición análoga á la de la Tierra; en particular contiene vapor de agua que da lugar á la formación de nubes, y en efecto, además de las manchas fijas que ya estudiamos, se observan otras de formas bastante variables. Según Neison, la atmósfera de Venus presenta una refracción horizontal de 54,65, y su densidad sería 1,89 mayor que la correspondiente á la atmósfera terrestre.

El espectro y color general de Marte fué escrupulosamente observado por el Dr. Huggins durante una de las oposiciones del planeta. En las regiones azul y añil se distinguían varios grupos de líneas; sin embargo, la debilidad de esta zona del espectro cuando se estrechaba la ranura para poder percibir de un modo distinto las rayas de Fraunhofer, no permitía medir con exactitud la posición de las líneas marciales. Por esta razón no pudo Huggins determinar si estas líneas eran las correspondientes á igual región del espectro solar, ó si eran nuevas líneas que se debían á la absorción que sufre la luz por reflexión en el planeta.

En la región del rojo existen varias líneas muy fuertes; se ve muy bien la raya C de Fraunhofer, cuya posición se determinó satisfactoriamente por medio de medidas micrométricas efectuadas con el aparato. Desde esta línea se encuentra el espectro cruzado por rayas oscuras que se extienden hacia su parte menos refrangible. Una de ellas, muy acentuada, se hallaba situada entre C y B. Como esta raya no se encuentra en el espectro solar, hay que admitir que la produce la absorción del planeta y probablemente la atmósfera que lo rodea. Las otras líneas del rojo pueden ser idénticas, en parte al menos, á B y A del espectro solar.

También observó Huggins el espectro de las regiones más oscuras del disco de Marte. El espectro de la zona oscura situada debajo de la mancha blanca del polo austral, aparecía como una banda pulverulenta en comparación con el espectro de las otras partes adyacentes más brillantes. Este débil espectro parecía tener un tono de profundidad uniforme en toda su longitud, observación

que indica que la substancia que forma las porciones más oscuras de la superficie del planeta absorbe de igual manera todos los rayos del espectro; estas porciones, por lo tanto, han de ser de color neutral ó poco menos.

Según Huggins, no debe considerarse el color rojo de Marte como producido por absorción electiva, esto es, por un género de absorción de ciertos rayos únicamente, que dé origen á la aparición de líneas oscuras en el espectro. Además, no parece probable que el tinte rojizo característico del planeta, provenga de la atmósfera de Marte, pues la luz reflejada en las regiones polares no presenta color alguno, por más que esta luz tenga que atravesar un espesor más considerable de atmósfera que la que procede de las regiones centrales del disco, y precisamente en la parte que corresponde al centro del planeta es mucho más marcado el color.

Si el tinte se debiera, en efecto, á la atmósfera marcial, habría que suponer que ésta no presentaba por todas partes una misma composición, puesto que en unos puntos del disco planetario se ve de color más claro, y en otros de tono más profundo. En el estado actual de nuestros conocimientos sobre este asunto, sólo se puede decir que el color distintivo del planeta tiene su origen en la materia de que se componen algunas porciones de su superficie.

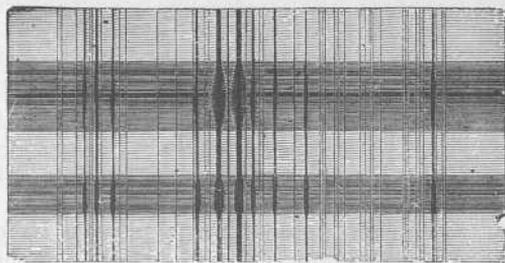


Fig. 188. - Espectro de las manchas solares

El espectro de Júpiter fué examinado por Browning con un espectroscopio adaptado á su reflector de 32 centímetros de diámetro; su brillo es bastante escaso, de modo que la posición de sus líneas no se puede determinar con gran precisión. A pesar del excesivo esplendor que ofrece este magnífico planeta en el cielo, su espectro es más débil que el de una estrella de segunda magnitud; esto se debe á que su brillo es más aparente que real, y depende del gran tamaño de su disco, en comparación con las estrellas, y de que su luz es reflejada y no directa.

En 1864 descubrió Huggins varias rayas oscuras en la región roja del espectro de Júpiter, que no coincidían con ninguna de las líneas de Fraunhofer del espectro solar, y entre ellas una que no correspondía á las rayas telúricas. Posteriormente examinó el espectro de este planeta Le Sueur con el gran telescopio de Melbourne, y distinguió las líneas de absorción descritas por Huggins.

Browning también llegó á verlas en 1870, agregando que distinguía en la región verde del espectro, cerca del amarillo, varias líneas oscuras muy finas que coincidían con las que producen los vapores de la atmósfera terrestre, visibles en la parte correspondiente del espectro solar, cuando el astro del día se encuentra cerca del horizonte. Si se pudiera admitir con algunos astrónomos que Júpiter fuera luminoso, por sí mismo, había motivo para atribuir estas líneas á ciertos elementos del planeta que no existiesen en el Sol, ó si acaso se hallan en éste, no nos han sido revelados por efecto alguno de absorción.

El espectro de Saturno, que es en extremo débil, fué examinado por Huggins, quien observó en él algunas de las líneas características del espectro de Júpiter; estas líneas se ven con menor distinción y claridad en la luz de las asas del anillo, de lo cual hemos de deducir que el poder absorbente de la atmósfera que circula en torno de estos apéndices anulares, es más débil que el de la envoltura gaseosa del globo central.

Posteriormente Vogel comprobó que en el espectro del cuerpo del planeta existía una banda de gran absorción situada en el rojo, de que carecía el espectro de los anillos, ó por lo menos, era en extremo débil; según estas observaciones, parece, pues, que los anillos carecen de atmósfera.

Las observaciones de Janssen, confirmadas por Secchi, han demostrado que en las atmósferas de Júpiter y Saturno existe el vapor de agua.

El espectro de Urano, que fué estudiado por Secchi, parece ser de un carácter en extremo notable; consta principalmente de dos bandas negras anchas, una en el azul verdoso, pero que no coincide con la raya F, y la otra en el verde, cerca de la línea E; un poco más allá de esta banda desaparece por completo el espectro, y en su lugar se ve un espacio vacío que se extiende por las regiones del amarillo y el rojo, en donde se columbra de nuevo una débil reaparición de la luz. El espectro, por lo tanto, es igual al que se produciría si se extinguieran todos los rayos amarillos de la luz del Sol. La línea oscura del sodio, D, se presenta, como sabemos, en la parte del espectro que ocupa este espacio no luminoso. O hay que atribuir, por consiguiente, este fenómeno extraordinario al influjo de dicho metal, ó bien el planeta Urano, cuyo espectro tan gran diferencia ofrece con el del Sol, es luminoso por sí mismo. ¿Acaso no habrá llegado el planeta á adquirir todavía el grado de consistencia que poseen los demás cuerpos del cortejo solar más próximos á nosotros, que sólo brillan por la luz del Sol reflejada? ¿Serán exactas las observaciones fotométricas de Zöllner, según las cuales es muy posible suponer que este cuerpo se halla todavía en su proceso de condensación y subsiguiente desarrollo, por los que ya pasó la Tierra?

A estas preguntas poco ó nada podemos contestar en la actualidad, y sólo se resolverá el problema cuando haya observaciones que merezcan mayor confianza. De realizarlo así trató Huggins, quien presentó á la Real Sociedad una Memoria sobre el aspecto que presenta el espectro de Urano; es éste continuo, sin que le falte ninguna porción, en cuanto puede juzgarse por la debilidad de la luz, desde la línea C hasta G. Debido á la escasa luminosidad del planeta, no pudo Huggins emplear una ranura bastante estrecha, como para que se presentasen las rayas de Fraunhofer; la notable absorción que ofrece Urano se manifiesta por seis líneas muy acentuadas; la situación de la menos refrangible sólo puede presumirse porque corresponde á la parte más débil del espectro.

Las medidas de la banda más refrangible indican que corresponde probablemente á la raya solar F; las comparaciones directas demuestran que coincide con la línea brillante del hidrógeno; tres de las líneas, según acusaba el micrómetro, correspondían á las brillantes del aire.

Observaciones recientes de Lockyer confirman que el planeta se encuentra todavía en estado de incandescencia y que muchas de las bandas de su espectro se deben al carbono, sin que le fuera posible distinguir líneas comparables

con las del espectro solar. Pero Huggins ha conseguido en estos últimos años fotografiar el espectro del planeta, con una exposición muy prolongada, empleando una ranura estrecha, obteniendo por este medio un hermoso espectro en el que se reconocen todas las rayas principales del solar, fotografiado sobre la misma placa, sin que existan más líneas, ni negras, ni brillantes, de modo que la luz del planeta, al menos en su parte más refrangible, procede únicamente del Sol.

El espectro de Neptuno, que también fué examinado por Secchi, ofrece una gran semejanza con el de Urano; se caracteriza por tres bandas principales; la primera, que es la más débil, está situada entre el verde y el amarillo, casi en el centro de *D* y *b*; su anchura es considerable, pero está muy mal definida en los bordes. Entre ella y el rojo hay una banda bastante brillante en la cual parece que termina bruscamente el espectro desapareciendo el resto de la zona roja.

Opina Secchi que la ausencia del rojo no se debe á la escasa luminosidad del planeta, puesto que algunas estrellas menos brillantes que Neptuno muestran con toda claridad en el espectro el color rojo; la falta de este tono en el de Neptuno debe, por lo tanto, atribuirse á la absorción.

La segunda banda de absorción se presenta en la línea *b*; se halla bastante bien definida en sus cantos, pero es mucho más difícil de observar que la anterior. La tercera banda se encuentra en el azul y es aún más débil que la segunda. Este espectro concuerda con el color general del planeta, que es verde mar; interesa su estudio doblemente, por la coincidencia que ofrecen las bandas oscuras con las bandas brillantes de ciertos cometas y con las oscuras de algunas estrellas. Es posible que se deban al carbono; pero como son en extremo difíciles de medir y para observarlas hay que aguardar una noche adecuada, las cuales son muy raras, nada decisivo puede decirse sobre el particular.

Al hablar de los eclipses totales de Sol, mencionamos que entre los diversos fenómenos que más llamaban la atención de los astrónomos se debían considerar los apéndices rojos que en el momento de la totalidad aparecían alrededor de la Luna; para la mayoría estas protuberancias, como se llamaban, tenían existencia real; para otros sólo se trataba de apariencias ópticas; pero en el eclipse de 1860, visible en España, quedó resuelta la cuestión, gracias á las fotografías obtenidas por Secchi y De la Rue, pues en las placas quedaron impresas, no sólo las protuberancias, una de las cuales tenía la enorme altura de 28.000 leguas, sino que también la corona quedó marcada. Después de esta época es cuando entró el método espectroscópico en la práctica corriente de la Astronomía, perfeccionándose de tal modo los aparatos y adquiriendo tal habilidad en su manejo los astrónomos, que en 1866 anunció Lockyer que el método espectral permitiría estudiar las protuberancias en todo tiempo y sin que fuera necesario aguardar para ello á las raras ocasiones que presentan los eclipses.

Esto, sin embargo, no se realizó á causa de la escasa dispersión del instrumento empleado.

Dos años después, en 1868, publicó Huggins un trabajo en el que comunicaba las tentativas que había hecho con objeto de distinguir las protuberancias, cuya invisibilidad en pleno día dependía, en su opinión, á no dudar, de la iluminación de nuestra atmósfera; pues si son cuerpos gaseosos, ha de componerse su

espectro de líneas brillantes; y reducida considerablemente la intensidad de la luz difusa de nuestra atmósfera cerca del borde solar, por la dispersión de un espectroscopio poderoso, aparecerán las líneas brillantes de las protuberancias, dado caso que éstas existiesen en aquel momento; á pesar de sus tentativas, basadas en una teoría exacta, nada consiguió Huggins.

Este era el estado de la cuestión, pocos meses antes de la fecha marcada para el eclipse total del 18 de agosto de 1868, en el cual se trataba de averiguar, por medio del espectroscopio, si las protuberancias eran, en efecto, gaseosas y qué substancias entraban en su composición.

El primero de estos problemas debía quedar resuelto tan pronto como se dirigiera un espectroscopio hacia las protuberancias, pues todo se reducía á ver si el espectro era continuo ó presentaba líneas de alguna clase. Sabemos, con efecto, que una materia sólida ó líquida incandescente produce un espectro continuo, como ocurre con el carbón que se encuentra suspendido en la llama de una bujía. Los mismos gases también pueden dar un espectro continuo si su temperatura es muy elevada; pero siempre que se obtiene un espectro formado de rayas brillantes separadas unas de otras por espacios negros, se trata de una materia gaseosa cuya naturaleza química puede determinarse por el número y posición de las rayas. El problema, prácticamente considerado, era mucho más difícil de lo que en un principio se había supuesto; pero estas dificultades no átemorizaron á los Janssen, Rayet, Herschel, Weise y Tennant, que con el mayor ardor se consagraron á este trabajo.

Para esto se necesitaban anteojos muy poderosos, capaces de formar imágenes claras y detalladas de las protuberancias; además, debían de estar dotados estos instrumentos de un movimiento automático, á fin de que las imágenes producidas en la hendedura del espectroscopio permaneciesen en este punto durante mucho tiempo; los espectroscopios debían ser de un poder dispersivo bastante fuerte, como para separar las líneas, evitando, sin embargo, el exagerar su potencia, con objeto de perder la menor cantidad de luz posible. Como no había medio de efectuar ensayos preliminares con los diversos instrumentos ideados, se aguardaba la observación del eclipse con objeto de comparar las ventajas de cada uno de ellos.

El P. Secchi propuso que se emplease un espectroscopio simplificado, que se reducía á un solo prisma de visión directa, colocado entre el objetivo y el ocular del anteojo. Observando así, se hubiera descompuesto la luz de las protuberancias de igual manera que la de una bujía, ó de la llama de la lámpara de alcohol con sal marina ú otros cloruros.

A pesar de estas dificultades no desmayó el entusiasmo de los astrónomos, siendo coronados sus esfuerzos con un resultado magnífico; los observadores se extendieron por toda el Asia; los más favorecidos fueron Janssen en Guntoor, Rayet en Malaca, el capitán Herschel y el mayor Tennant en Guntoor y Weiss en Aden.

El eclipse presentóse en circunstancias muy favorables, y una enorme protuberancia del limbo oriental fué percibida inmediatamente por los observadores, que en el acto apuntaron sobre ella sus instrumentos, que acusaban la presencia de un espectro discontinuo, formado por un corto número de rayas

brillantes. La primera parte del problema estaba, pues, resuelta y se tenía la certidumbre de que las protuberancias eran masas gaseosas.

Había, pues, que tratar de reconocer la naturaleza de las substancias que las componían, cuestión esta última mucho más difícil de resolver que la primera, puesto que se trataba de fijar la posición de las líneas respecto de una escala arbitraria, tomando como término de comparación el espectro de una substancia conocida ó el del mismo Sol. En esta parte de las observaciones se cometieron varios errores, bien dignos de excusa por cierto, si se considera la dificultad de la empresa, acrecentada, si cabe, por la presencia de las nubes.

Rayet empleó un espectroscopio de visión directa y observó en el espectro de la gran protuberancia del borde oriental siete rayas principales, algunas de ellas tan vivas, que producían una especie de cola en el campo del instrumento; he aquí un extracto de la comunicación que dirigió este astrónomo á la Academia de Ciencias de París:

«Desde el momento en que comenzó la obscuridad total, dirigí la ranura del

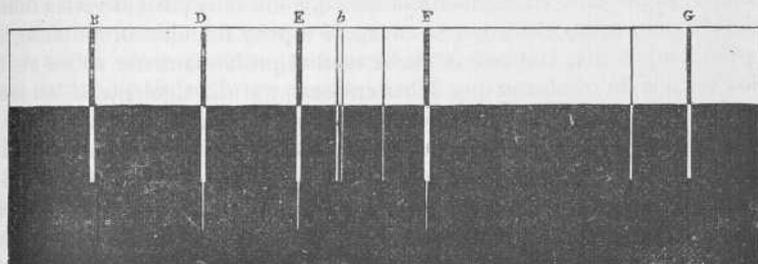


Fig. 188. — Líneas brillantes de las protuberancias observadas por Rayet en el eclipse de Sol de 18 de agosto de 1868

espectroscopio á la imagen de la gran protuberancia que entonces apareció por el limbo oriental del Sol, y vi inmediatamente una serie de nueve líneas brillantes, muy brillantes puedo decir, que se destacaban sobre un fondo uniforme casi negro, ó más bien violeta muy oscuro; ningún vestigio de espectro coloreado, producido por la corona, podía servir como punto fiduciario para medir la separación de las líneas brillantes. Sin embargo, gracias á la disposición que tenían en el campo, á sus separaciones relativas, á su color y, por último, al carácter particular de su conjunto, me pareció que estas líneas podían asimilarse á las rayas principales del espectro solar B, D, E, *b*, una línea desconocida F, y dos líneas del grupo G.»

La línea designada B corresponde en realidad á C, y en cuanto á D, sólo puede considerarse su posición como aproximada. La de F es exactísima. Janssen y Herschel señalaron la verdadera posición de C, si bien este último observador no llegó á determinarla con todo rigor á causa de las nubes que dificultaron su inspección.

Colocó Rayet sucesivamente la ranura de su espectroscopio en dos direcciones rectangulares; de este modo se tenía la seguridad de que el espectro observado por este método pertenecía, en realidad, á la protuberancia. En una segunda

observación analizó la luz de otro punto, y sólo halló una línea situada en el violeta, de lo cual habría que deducir que todas las protuberancias no tienen una misma composición química.

Comprobada completamente la existencia de la raya F, se tenía la seguridad de que el gas hidrógeno era una de las materias de que se componía la protuberancia, pero era necesario determinar la naturaleza de los gases á que pertenecían las otras líneas. La temperatura era indudablemente muy elevada y comparable á la que produce el paso de la chispa eléctrica en los tubos de Geissler. Por lo demás, esta comparación sirve para explicar el color rosado de las protuberancias, puesto que este es el tono que toma el hidrógeno cuando se le ilumina por una descarga eléctrica, después de rarificarlo.

De la Memoria que dirigió Janssen á la Oficina de las Longitudes extractamos los párrafos siguientes, en los que el mismo autor da cuenta de su notable descubrimiento en términos en extremo sencillos. «Durante la obscuridad total me llamó mucho la atención el extraordinario esplendor de las líneas de las protuberancias; se me vino en seguida á la idea que era muy posible verlas fuera de los eclipses; pero como el tiempo se encapotó á poco del último contacto, nada pude probar aquel día. Durante la noche medité profundamente sobre el método y los medios de ejecución que debía emplear, y al día siguiente, á las tres de la mañana, me levanté, disponiéndolo todo para las nuevas observaciones.

»Salió el Sol radiante; tan pronto como se desprendió de los vapores bajos del horizonte, principié mi exploración del modo siguiente. Valiéndome del buscador del gran antejo, coloqué la ranura del espectroscopio sobre el borde del disco solar en las mismas regiones en donde el día anterior había observado las protuberancias luminosas. Dispuesta así la ranura, caía una parte sobre el disco del Sol y la otra fuera, de modo que en el campo del instrumento aparecían dos espectros, el del Sol y el de la región de las protuberancias. Una dificultad grave que se presentaba era la del excesivo resplandor del espectro solar, pero pude evitarla tapando las regiones más brillantes del amarillo, el verde y el azul; dirigí toda mi atención á la línea C, oscura en el Sol y brillante en la protuberancia, y que, perteneciendo á una parte menos luminosa del espectro, debía percibirse con mucha mayor facilidad.

»Me ocupaba, poco tiempo hacía, en estudiar la región de las protuberancias del borde occidental, cuando distinguí de repente una raya roja, pequeña, brillante, de uno á dos minutos de altura, formando la prolongación rigurosa de la raya oscura C del espectro solar. Haciendo mover la ranura del espectroscopio de modo que recorriese metódicamente la región que estaba explorando, persistía la línea, pero se modificaba en su longitud y en el esplendor de sus diversas partes, acusando, pues, una gran variabilidad en la altura y en el poder luminoso de las distintas regiones de la protuberancia.

»Tres veces comencé la misma exploración y siempre aparecía la línea brillante en las mismas circunstancias. Redier, que me servía de ayudante, pudo verla también, y á poco rato predecíamos su aparición por el conocimiento que teníamos de las regiones exploradas. Poco después comprobé que la raya brillante F aparecía al mismo tiempo que C.

»Al mediodía volví á ocuparme de la región observada por la mañana; de

nuevo aparecieron las líneas brillantes, pero acusaban grandes modificaciones en la distribución de la materia de las protuberancias; á veces se fraccionaban las líneas en porciones aisladas que no se reunían á la raya principal, á pesar de las dislocaciones de la ranura de exploración. Este hecho indicaba la existencia de nubes sueltas que se habían formado después de la observación de la mañana; en la región de la gran protuberancia hallé algunas líneas brillantes, pero su longitud y su distribución acusaban también en esta parte grandes cambios.

»De esta manera quedó demostrada la posibilidad de observar las líneas de las protuberancias fuera de los eclipses, creándose así un nuevo método para el estudio de esos cuerpos.»

El programa que se impusieron los astrónomos se cumplió, pues, en todas sus partes, y las observaciones de Janssen y Rayet probaron que las protuberancias luminosas pertenecían al Sol y estaban compuestas de hidrógeno incandescente en su mayor parte, y dotadas de movimientos gigantescos de que no pueden darnos idea los fenómenos que presenciamos en la Tierra, pues estos conglomerados gaseosos son de volumen inmenso, centenares de veces mayores que nuestro globo y cambian de forma, tamaño y situación en el espacio de algunos minutos.

Lockyer, mientras tanto, había hecho ciertas mejoras y modificaciones en su instrumento, y sólo volvió á su poder, de manos del artista, el 16 de octubre de 1868. El 20 del mismo mes, arreglado ya el tele-espectroscopio, pudo emplearlo en sus observaciones, y el propio día dirigió á la Real Sociedad la comunicación siguiente:

«Esta mañana he podido observar sin inconveniente parte del espectro de una protuberancia solar. Como resultado práctico, he determinado la existencia de tres líneas brillantes en las posiciones que siguen: 1.^a, en perfecta coincidencia con C; 2.^a, casi en coincidencia con F; 3.^a, cerca de D.»

En una comunicación subsiguiente á Warren de la Rue afirma Lockyer que las protuberancias no son más que agregaciones locales de un medio luminoso y gaseoso, que rodea y envuelve al Sol por todas partes, y que el espectro característico de las protuberancias puede observarse en todos los puntos del borde solar. Estima el espesor de esta envoltura gaseosa en unas 2.000 leguas, y observa que el espectro puro de una protuberancia consta de líneas cortas brillantes; pero si la ranura del instrumento se dirige al limbo M N del Sol (fig. 189) del modo que antes se explicó, perpendicularmente á la tangente $a c$ de este punto, se verá una estrecha cinta $a b c d$ del espectro solar, y al lado otra banda espectral mucho más débil $a e f c$, correspondiente en parte á la atmósfera terrestre, y en parte á la protuberancia p . Como por este sistema se ven las líneas brillantes de las protuberancias tan íntimamente unidas á las rayas de Fraunhofer que parecen sus prolongaciones, es fácil averiguar, con gran exactitud, cuál de las líneas brillantes coincide con las rayas de Fraunhofer, y cuál no. Si según este método se dirige el espectroscopio al limbo extremo del Sol, y se hace pasar la ranura alrededor del astro, inmediatamente se reconocerá el espectro de las pro-

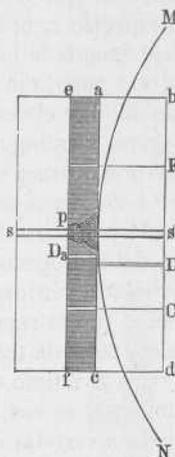


Fig. 189. — Espectro de las protuberancias

tuberancias; y como las líneas no aparecen sino en las regiones en que hay acumuladas grandes masas de hidrógeno, la mayor ó menor longitud de las rayas brillantes permite trazar un dibujo de la forma y posición de las protuberancias en torno del disco solar, tan exacto como el que pudiera hacerse durante un eclipse total.

En la figura 190 S representa la imagen solar formada por el objetivo del anteojo; $p p$ la imagen de una zona inmediata al limbo del Sol, invisible á causa del excesivo resplandor de la luz del día. La ranura $s s$ se coloca perpendicularmente al limbo del Sol, y se encuentra, por lo tanto, en la dirección de uno de los radios solares, así que la mitad de la ranura cae sobre el disco del Sol, mientras que la otra mitad se extiende sobre la región inmediata ó capa de hidrógeno luminoso que envuelve al globo solar; esta región es la de las protuberancias. En el espectro 1, brillante aún, si bien muy debilitado por la gran dispersión que experimenta la luz, se encuentran muy marcadas las líneas de Fraunhofer. En la otra mitad del campo visual se distingue el espectro del aire, 2 y 3, en extremo débil, y el cual, por un aumento conveniente del número de prismas, puede llegarse á extinguir por completo. El espectro 2 del estrato de las protuberancias $p p$ aparece sobre el espectro anterior en inmediato contacto con el espectro 1 del disco solar, demostrando las observaciones que el espectro 2 está formado por varias líneas brillantes, entre las cuales siempre son las más luminosas las del hidrógeno; de ellas H *alfa* (roja) forma la prolongación exacta de C; H *beta* (azul verdosa) la prolongación de F, y H *gamma* (azul) menos refrangible que G (no se representa en el dibujo). También se ve la línea D_3 , de cuya naturaleza se duda todavía, inmediatamente después de la línea del sodio D_2 .

En el último espectro, además de las cuatro líneas brillantes del hidrógeno uminoso, se ven, por lo común, otras líneas brillantes que corresponden á las líneas invertidas de Fraunhofer; entre ellas se encuentra la D_3 detrás de D_2 , y muy á menudo una línea verde que se debe al hierro (1475 de Kirchhoff); tres líneas del magnesio b , y según las observaciones de Rayet, las dos líneas del sodio D_1 y D_2 .

Como el espectro de las protuberancias, lo mismo que el del estrato gaseoso $p p$ que inmediatamente rodea al globo solar, se componen de líneas coloreadas, propuso Lockyer que se diera á esta envoltura el nombre de *chromo-esfera*.

Tan pronto como se consiguió observar el *espectro* de las protuberancias sin tener que aguardar á las raras ocasiones de los eclipses, empezó á discutirse por los sabios si no sería posible distinguir, además de las líneas, las formas reales de las protuberancias, valiéndose de los mismos aparatos espectrales.

La longitud de la línea brillante de una protuberancia, de la línea H *beta*, por ejemplo, corresponde á la altura de la parte de la protuberancia que se encuentra en la dirección de la ranura, y Lockyer pudo, colocando sucesivamente el espectroscopio en diversas porciones de la protuberancia, dibujar las respectivas longitudes de la línea H *beta*, y trazar la forma aproximada de la masa gaseosa.

Janssen, por el contrario, propuso que se colocara sucesivamente la ranura sobre cada una de las porciones de la superficie de una protuberancia, por medio de la rápida rotación de un espectroscopio de visión directa, de modo que,

cuando el movimiento fuese suficientemente rápido, se podría ver de una ojeada el contorno completo, gracias á la persistencia de la impresión luminosa sobre la retina. Pero estos experimentos, aunque prometían un éxito satisfactorio, fueron abandonados por otros métodos; de una parte, por las dificultades mecánicas que presentaban, y de otra, porque se vió bien pronto que podía conseguirse el objeto deseado por procedimientos mucho más sencillos.

Huggins, famoso astrónomo inglés, hacía dos años que trabajaba en el mismo asunto y para conseguir el mismo fin, pero por otra vía distinta. Como las protuberancias son de un rojo pálido ó rosado, pensó que le sería posible verlas en plena luz solar, si, valiéndose de vidrios coloreados, conseguía eliminar los intensos rayos amarillos, verdes y azules de la luz blanca del Sol.

Después de elegir con todo esmero, por medio del análisis prismático, cierto número de cristales y fluidos coloreados, convenientes para el caso, examinó Huggins con su auxilio el disco solar directamente, y también proyectando su imagen sobre una pantalla en una habitación convertida en cámara oscura, después de haber descompuesto, y digámoslo así, filtrado la luz blanca á través de sus líquidos y cristales de color.

Este plan, sin embargo, no respondió á las esperanzas que había hecho concebir, y en el invierno de 1868 comenzó de nuevo Huggins sus trabajos, empleando un vidrio de color rojo que sólo permitía el paso de este tono del extremo del espectro. El 13 de febrero de 1869 consiguió el ilustre astrónomo columbrar una protuberancia en plena luz solar, bastante bien definida, de modo que pudo determinar su forma y bosquejar su contorno.

Para esta investigación hizo uso de un espectroscopio en el que había introducido una estrechísima rendija entre los prismas y el objetivo del pequeño antejo; esta ranura hacía que sólo penetrasen en el antejo los rayos cuya refrangibilidad correspondía exactamente á la de la línea C. Como la línea brillante C (*H alfa*) se presenta siempre en el espectro de las protuberancias, comprendió Huggins, al verla en el campo del instrumento, que una protuberancia se encontraba á su vez en el campo de la ranura; al ensanchar ésta hasta el punto de ver la forma completa de la protuberancia, se hizo tan impuro el espectro, que el contorno de la imagen se dibujaba con suma dificultad; al propio tiempo, la luz procedente de las inmediaciones de C se hizo tan intensa, que perjudicaba en alto grado á la sensibilidad del ojo. Aplicó entonces un vidrio encarnado para absorber los rayos de distinta refrangibilidad que la línea C, y llegó á ver la protuberancia con completa y perfecta distinción. La fig. 191 representa la primera protuberancia observada por Huggins, valiéndose del método que acabamos de indicar y en plena luz del día.

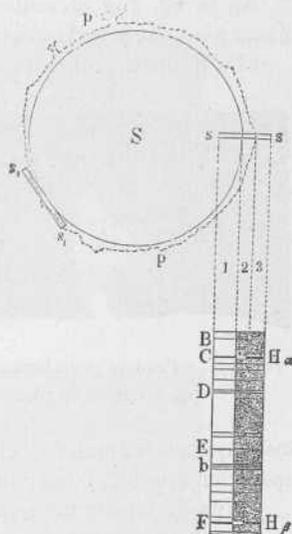


Fig. 190. — Método para observar las protuberancias

Al mismo tiempo que Huggins, se ocupaban del propio estudio, aunque por distintos medios, los astrónomos Zöllner y Lockyer; el primero de éstos, ya afeitado por la publicación de varios trabajos, se decidió, encontrándolo más acertado, por el método que consiste en disminuir la intensidad de la luz atmosférica, aumentando el número de prismas.

Con este artificio vió Zöllner las protuberancias por primera vez el día 1.º de julio de 1869, y publicó el resultado de sus observaciones, acompañándolas de una serie de dibujos muy interesantes, de algunas de las protuberancias más notables, que demuestran su origen, desarrollo y desaparición, todo ello del modo más claro é instructivo.

En la fig. 192 presentamos algunas de las formas más singulares de estas masas gaseosas y la descripción que hizo Zöllner de ellas.

«La primera protuberancia que observé se representa en la fig. 192, n.º 1; sobre una masa cónica de extremado brillo, que se proyectaba fuera del disco solar, se extendía una nube vaporosa de menor intensidad; al mismo tipo también pertenecen las protuberancias números 4 y 6 de la fig. 192.

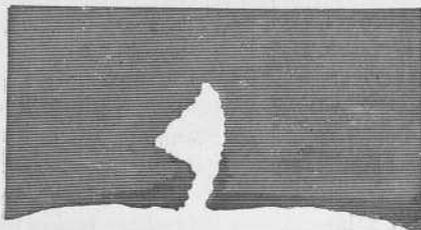


Fig. 191. - Primera protuberancia observada por Huggins en pleno Sol

»El número 4 excitaba la mayor sorpresa por la hermosa nube de cúmulos que flotaba á cierta distancia encima del cono. La contextura de la nube era notable por su suavidad y se percibían hasta sus menores detalles;

los pequeños cúmulos ó elementos parciales que constituían la nube grande, aparecían como débiles puntos luminosos.

»Una de las formas más notables era la que se representa en el número 2; no me atrevía á creer lo que me revelaban mis ojos, pues me parecía que la nube estaba dotada de un movimiento ondulatorio análogo al de una llama. Este movimiento era, sin embargo, más lento en proporción al tamaño de la llama que el correspondiente á las otras expansiones de mayor potencia; el tiempo que exigía la propagación de esta ola luminosa, desde la base á la terminación de la imagen, era de dos ó tres segundos.»

A partir de esta fecha, el estudio de la cromoesfera y de sus grandes perturbaciones formó parte de las tareas habituales de varios observatorios, distinguiéndose entre ellos los italianos. Secchi, Tacchini y otros se ocuparon asiduamente, favorecidos por la pureza del cielo, en este trabajo, dibujando día por día la forma que afectaba.

En épocas tranquilas se presenta en su base, esto es, en la parte inferior que se encuentra inmediatamente en contacto con la fotosfera, con un tono más vivo que en la parte alta, la cual casi siempre está cubierta de filamentos pequeños acabados en punta, que en grandes extensiones se encuentran todos inclinados en el mismo sentido; otras veces siguen dos direcciones contrarias, bien convergentes, ora divergentes. En algunas ocasiones se desarrollan estos filamentos y forman verdaderas llamas, cuyo conjunto ofrece un aspecto aná-

logo al que presenta un campo cultivado en la época de quemar los rastrojos.

Su altura no es uniforme en todo el contorno del disco solar; hay, sobre todo, dos regiones notables en este concepto, que son los polos y la zona de las manchas. El estado de la cromoesfera depende de la actividad general del Sol, pero en las regiones polares las perturbaciones son siempre más importantes.

Se presentan las protuberancias bajo aspectos tan raros y caprichosos, que es absolutamente imposible describirlas con mediana exactitud, y bajo este nombre se designan los más variados fenómenos, desde las sencillas elevaciones del

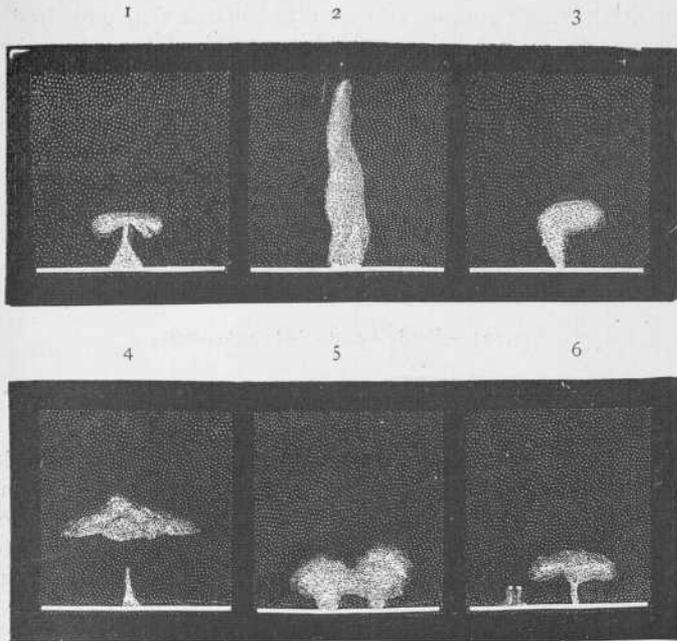


Fig. 192. - Protuberancias solares observadas por Zöllner

espesor de la cromoesfera, hasta las erupciones gigantescas cuya altura alcanza, á veces, la cuarta parte del diámetro solar, es decir, veintisiete veces el de la Tierra. La representada en la fig. 194, aunque no tan grande, se refiere á una llama de 57.000 leguas de altura, en la que cabrían 17 globos como el nuestro, observada por Tacchini en 1885.

Casi sin interrupción están cambiando de forma, pero lentamente y de un modo casi imperceptible; en algunos casos, sin embargo, las modificaciones son tan rápidas, que protuberancias de 11.000 leguas de altura han desaparecido en el espacio de diez minutos.

Aunque las estrellas fijas, por su inmensa distancia y escaso esplendor, son menos notables, en la apariencia, que la Luna y los planetas, nos ofrecen, em-

pero, siendo *focos de luz propia*, indicaciones más completas acerca de su naturaleza íntima.

Las estrellas han sido en todo tiempo motivo de meditaciones para los astrónomos y los sabios, y de concepciones fantásticas para el vulgo, que no podía dejar de admirar sus bellezas y misterios. Analizadas con los anteojos y telescopios más poderosos, sólo se percibían como un punto, más brillante, eso sí, que á la simple vista, pero en cuanto á su constitución permanecíamos en la misma ignorancia que antes.

Se supuso que las estrellas eran *verdaderos soles*, rodeados de planetas y éstos de satélites; pero en la época en que se formuló esta opinión, sólo tenía por fundamento una analogía posible, y no era más que una simple hipótesis, puesto que la observación no nos había revelado nada absolutamente acerca de la composición de estos puntos luminosos. Estas revelaciones, por tanto tiempo aguardadas, las debemos al análisis espectral, que nos permite leer en la luz

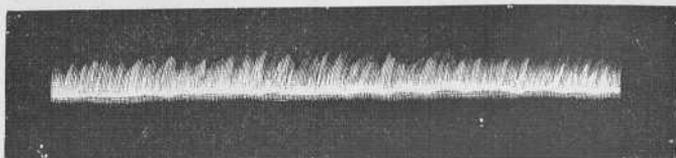


Fig. 193. — Borde ó canto de la cromoesfera

emitida por estos cuerpos celestes su verdadera naturaleza y la composición de sus elementos.

Esta luz nos pone en comunicación telegráfica con los astros situados en el cielo, á distancias infinitas; el espectroscopio es el telégrafo, las líneas espectrales son, individualmente, las letras del alfabeto, y su reunión como espectro forma el telegrama. No es tan fácil, sin embargo, comprender este lenguaje estelar; pero gracias á los trabajos de Secchi, Huggins, Miller y otros muchos, las principales estrellas y nébulas, y los cometas de mayor brillo, se han estudiado espectroscópicamente, obteniéndose pruebas evidentes acerca de su constitución física.

Como los espectros estelares presentan una gran analogía con el del Sol, puesto que son continuos y se hallan cruzados por líneas negras, hay motivo para aplicar también á las estrellas fijas la teoría de Kirchhoff, y para aceptar la misma explicación de estos fenómenos semejantes, que ya hemos admitido al tratar del Sol.

En el supuesto de que la fotosfera incandescente y vaporosa de una estrella contiene ó se halla rodeada de vapores caldeados que absorben los mismos rayos de luz que emitiría si fuera luminosa de por sí, podemos descubrir, por las líneas oscuras de los espectros estelares, las substancias que constituyen la fotosfera ó atmósfera de cada estrella.

Con objeto de averiguar este punto con toda certidumbre, hay necesidad de comparar las rayas oscuras de las estrellas con las líneas brillantes de las substancias terrestres volatilizadas en la chispa eléctrica, y la completa coincidencia

de las líneas brillantes características de un cuerpo terrestre, con igual número de rayas oscuras en el espectro estelar, justificará la conclusión de que esta



Fig. 194. - Llamas solares de 57.000 leguas de altura, observadas por Tacchini en Roma, en enero de 1885: comparación de sus dimensiones con las de la Tierra

substancia existe en la atmósfera de la estrella; conclusión tanto más evidente, cuanto mayor sea el número de líneas que coincidan en ambos espectros.

El brillante espectro de dos estrellas de primera magnitud, Aldebarán (*alfa*

Tauri) y Betelgeuze (*alfa* Orionis) se representa en la lámina de la página siguiente. Las posiciones de todas estas líneas oscuras, ochenta próximamente en cada espectro, que cruzan la porción del espectro continuo entre las líneas C y F de Fraunhofer, se determinaron escrupulosamente por Huggins y Miller, repitiendo infinitas veces las medidas micrométricas. Estas líneas medidas, no obstante, son en corto número, en comparación de las innumerables rayas finas que se ven en el espectro de ambas estrellas.

Debajo del espectro de cada estrella se representan las líneas brillantes de los metales que sirvieron de comparación. Estos espectros de los elementos terrestres aparecen en el espectroscopio como líneas luminosas sobre fondo oscuro, en la posición que indica el grabado de la página siguiente, es decir, exactamente en yuxtaposición con el espectro de la estrella, de modo que se puede determinar con la mayor exactitud si las líneas brillantes coinciden ó no con las rayas negras de la estrella.

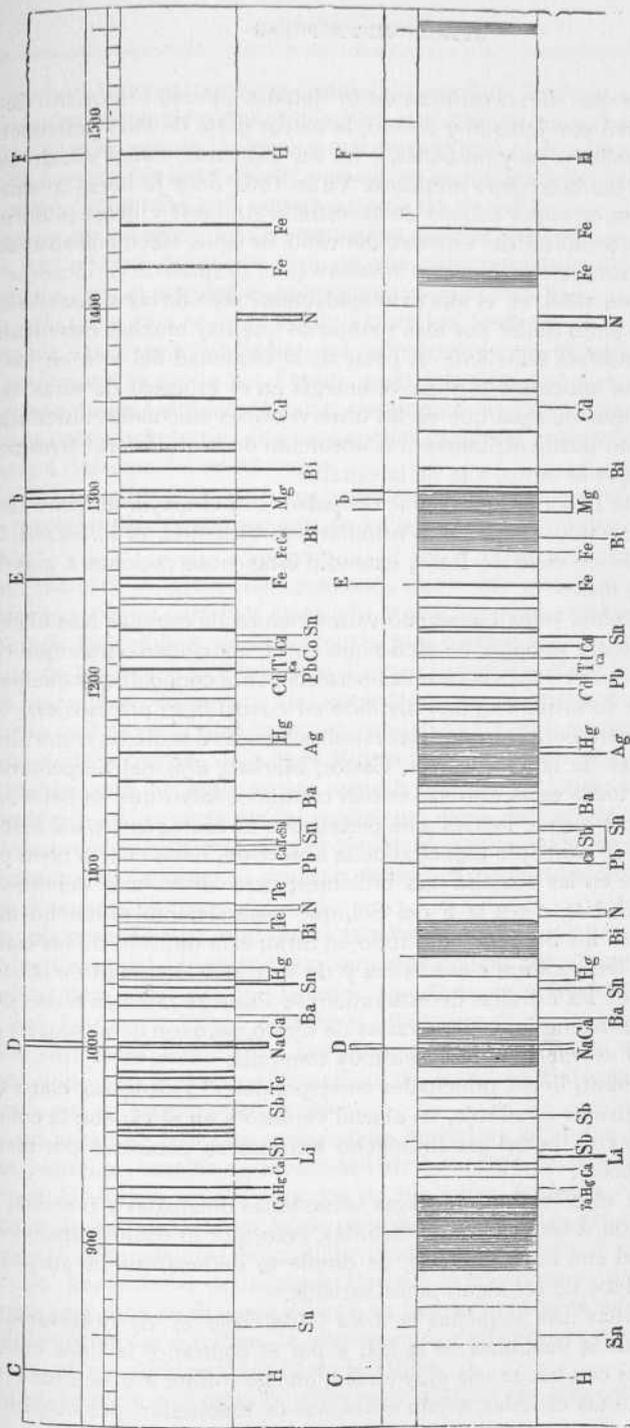
La doble línea D, característica del sodio, por ejemplo, coincide línea á línea con otra raya oscura, doble también, que existe en ambas estrellas; por consiguiente, en las atmósferas de estos lejanos cuerpos hay vapores de sodio, y este metal forma uno de los elementos constitutivos de los núcleos de estos astros.

Las tres líneas brillantes *Mg*, en el verde, están formadas exclusivamente por el vapor luminoso de magnesio; concuerdan en posición con toda exactitud y línea por línea con las tres rayas oscuras estelares *b*. Así que, de igual manera, hemos de convenir en que el magnesio forma otro de los elementos componentes de las dos estrellas.

Del propio modo, las dos líneas brillantes intensas marcadas H, características del gas hidrógeno, situada en el rojo una de ellas, y la otra en el límite entre el azul y el verde, coinciden precisamente con las oscuras C y F del espectro de Aldebarán, pero no, según Huggins, con el de Betelgeuze; por lo tanto, el gas hidrógeno existe en la fotosfera ó atmósfera de Aldebarán y falta en la estrella correspondiente *alfa* Orionis; sin embargo, estas conclusiones respecto á la carencia de hidrógeno en Betelgeuze y otras estrellas no se hallan plenamente confirmadas. De un modo semejante, otros elementos, entre ellos el bismuto, antimonio, telurio y mercurio, se ha averiguado que entran en la composición de estas estrellas.

Es necesario señalar aquí respecto de todos estos elementos, que la certidumbre de su presencia en las estrellas no se apoya en la coincidencia de *una sola* línea, que únicamente daría un testimonio de escaso valor, sino en la coincidencia de un grupo de dos, tres ó más rayas que se presenten en diversas regiones del espectro. La coincidencia de otras muchas líneas brillantes y oscuras de la misma substancia se comprobaría, sin duda alguna, si la luz de la estrella fuera más intensa, como sucede en el espectro solar; pero la debilidad de la luz estelar limita la comparación á las líneas más fuertes de cada substancia terrestre.

Pudiera preguntarse: ¿qué elementos representan las otras innumerables líneas y bandas oscuras en las estrellas? Algunas de ellas se deben probablemente á vapores de elementos terrestres, que hasta ahora no se han podido comparar con el espectro de las estrellas.



1. Espectro de Aldebarán (*α*/α Tauri). - 2. Espectro de Betelgeuze (*α*/α Orion), comparados con el espectro solar y los espectros de los elementos terrestres

El hecho de que ciertas estrellas están dotadas de una atmósfera de vapor acuoso se observó por Janssen y Secchi; la mayor parte de ellas pertenecen á la clase de las estrellas rojas y amarillas, y en sus espectros, como era de esperar, faltan las líneas del hidrógeno luminoso. Ya en 1864 notó Janssen la existencia de una atmósfera de vapor acuoso en la estrella Antares; y después de una investigación más completa del espectro del vapor de agua, efectuada en 1866, y de un estudio de los espectros estelares llevado á cabo después de verificado el eclipse total de Sol de 1868, en el aire extremadamente seco de las alturas de Sikkim (Himalaya), no pudo dudar por más tiempo de que hay muchas estrellas rodeadas por una atmósfera semejante. A pesar de la sequedad del aire en los picos del Himalaya, se marcaban con mayor energía en el espectro de estas estrellas las líneas del vapor de agua que en las observaciones efectuadas anteriormente, fenómeno que no puede atribuirse á la absorción de la atmósfera terrestre y que ha de deberse, por lo tanto, á la de la estrella.

Mientras que Huggins y Miller se ocupaban con el mayor empeño del estudio espectral de una centena de las estrellas más brillantes, el P. Secchi, favorecido por el purísimo cielo de Italia, extendió estas observaciones á más de quinientas estrellas fijas.

Desde esa época se han agregado varios cientos de estrellas más al catálogo del sabio astrónomo romano, de modo que en la actualidad contamos con un gran número de espectros de estrellas perfectamente conocidos, y que para mayor facilidad de su estudio se han dividido en cuatro tipos principales.

1.º El primero corresponde á las estrellas blancas ó azuladas como Sirio *alfa* de la Lira, varias de la Osa mayor, Cástor, Markab, *alfa* del Serpentario, etc. El espectro de todas estas estrellas es casi continuo, salvo que se halla surcado por cuatro líneas negras fuertes que pertenecen al hidrógeno, pero invertidas, según el conocido principio espectral de la absorción. Estas cuatro rayas pueden verse fácilmente en las estrellas más brillantes; pero en las más débiles sólo es perceptible la H *beta*, ó sea la F del Sol, que generalmente es mucho más ancha y dilatada en los bordes, sobre todo en Sirio; esta difusión de los cantos es indicio de una temperatura elevadísima y de una gran densidad de la atmósfera hidrogénica de las estrellas de este orden; se observan también trazas de otras líneas, como de magnesio, sodio y varias de hierro, pero son debilísimas y exigen para poderlas observar una atmósfera muy tranquila.

Como las cuatro líneas principales corresponden al hidrógeno, claro es que han de estar situadas en el rojo, en el azul verdoso y en el violeta; la coincidencia de las rayas con las del gas hidrógeno terrestre se demostró por medio de los tubos de Geisler.

No siempre se columbran las rayas secundarias detalladas y precisas; en Sirio y en Vega son á las veces muy distintas, pero, por lo común, apenas se perciben aunque el aire esté tranquilo, de donde se deduce que la atmósfera de estos cuerpos debe de ser algún tanto variable.

En las estrellas más pequeñas la línea C del rojo es de observación muy difícil á causa de la debilidad de la luz, y por el contrario, la línea correspondiente al azul es con frecuencia muy ancha; un ligero tinte azul se nota en el color general de estas estrellas, según acabamos de manifestar; por consecuencia,

sus espectros contienen poco rojo y amarillo, predominando el azul y el violeta.

Un espectro completo del primer tipo es el que se representa en la fig. 195, copiada de un dibujo de Huggins y que corresponde al espectro de Sirio; casi la mitad de las estrellas del cielo se encuentran incluidas en este tipo y sus espectros pueden examinarse aun con un antejo de escaso poder.

Algunas de las rayas menos acentuadas pueden deberse á la absorción telúrica de la atmósfera, porque en Sirio se han observado á menudo cuando la estrella estaba baja, y rara vez al encontrarse en el meridiano.

En *alfa* de la Lira se han llegado á observar hasta en el meridiano; que la difusión de las líneas principales del hidrógeno en las estrellas brillantes era real y no ilusoria se probó por Secchi, pues mientras que con el prisma objetivo en *beta* de los Gemelos se veían claramente las rayas finas, en Sirio y en Vega eran, por el contrario, difusas y anchas, hasta tal extremo, que no podían atribuirse á defectos del instrumento.

Muchas estrellas menores blancas parecen tener un espectro continuo y sin rayas; pero estudiadas con esmero, se hallan de este tipo con líneas, empero, muy finas.

Esta clase es numerosísima y abraza, según decimos, más de la mitad de las estrellas visibles; para fijar su estado presente y asegurarnos de tal modo en lo futuro de los cambios de importancia que puedan sufrir, trazó el P. Secchi una lista de las principales estrellas, dispuesta según la clase de sus tipos que, si bien incompleta, basta para fijar sus estados físicos en nuestra época.

Bueno será advertir que en varias estrellas análogas y de este tipo, como en Proción, *alfa* del Aguila, *alfa* de la Virgen, etc., se columbran bastantes líneas finas, visibles con facilidad, en los mismos lugares en donde apenas se distinguen vestigios en las otras, de tal modo que éstas parece que se hallan en un estado de transición de este tipo al siguiente; pero se sabe que estas estrellas son ligeramente variables, y por eso mismo, hasta el tipo deja de presentar siempre la misma pureza.

2.º El segundo tipo es el de las estrellas amarillas, que presentan rayas finísimas; las líneas del hidrógeno también son visibles, pero muy sutiles y no tan marcadas como en las del tipo anterior, siendo su espectro perfectamente igual al del Sol. La Cabra, Pólux, *alfa* de la Ballena, *alfa* de la Osa mayor y otras muchas pertenecen á este tipo. La finura de las rayas exige que el aire esté muy tranquilo para verlas con distinción. El sodio, el hidrógeno, el hierro y el magnesio son en extremo perceptibles.

Es un hecho de la mayor importancia el de que, al variar de color algunas de estas estrellas, cambia la intensidad de las rayas de sus espectros. Así en Arcturo y Aldebarán, en sus períodos de luz rojiza, aumenta el ancho y crece la negrura de las líneas de un modo notable, llegando algunas á hacerse difusas como la D, presentando indicios de zonas de columnas y asemejándose al tercer tipo. Las estrellas del segundo tipo son también muy numerosas; comparando sus espectros en diversas épocas, se han hallado tales diferencias, que no es posible atribuir las á errores de observación, y parece que pasan de este tipo al tercero, como, verbigracia, *alfa* de la Hidra.

Como decimos, son estas estrellas muy difíciles de observar; las líneas ne-

gras del espectro de Capella y Pólux son en extremo finas, y las de Arcturo y Aldebarán mucho más anchas y más fáciles de reconocer. Esta última estrella puede considerarse que ocupa una posición intermedia entre el segundo y tercer tipo, mientras que Proción forma el lazo que une las estrellas del primero al segundo tipo.

Las líneas negras del espectro de las estrellas del tipo segundo coinciden tan exactamente con las más acentuadas rayas de Fraunhofer, que estos astros pueden utilizarse, según propuso Secchi, como patrones de comparación en el estudio de los otros espectros, y en las correcciones del instrumento. Este estrecho parecido con el espectro solar nos obliga á deducir que tales estrellas están compuestas de elementos semejantes á los que constituyen el Sol y que poseen una composición física análoga á la del lumínar del día. Muchas de ellas presentan un espectro continuo que depende, á no dudar, de la finura de las líneas, no siempre visibles, por esta causa precisamente.

Al primer tipo pertenece la mitad de todas las estrellas observadas hasta aquí; de la mitad restante, quizás dos tercios pueden considerarse como amarillas y corresponden al tipo segundo.

3.º El tercer tipo se encuentra en las estrellas anaranjadas y rojas; está formado por líneas negras y brillantes interpoladas con zonas y bandas oscuras y difusas; si están completas, su número llega á nueve, dispuestas como otras tantas columnas acanaladas vistas á la carrera y con la luz de iluminación hacia el lado del rojo. Son notables particularmente *alfa* del Escorpión, *omicron* de la Ballena, *beta* de Pegaso, *alfa* de Hércules y el prototipo de la clase, que es *alfa* Orionis.

De estas, y de otras menos hermosas, damos aquí un catálogo que puede ser de alguna utilidad á los aficionados á contemplar estas maravillas celestes.

CATÁLOGO DE ALGUNAS DE LAS ESTRELLAS MÁZ HERMOSAS DEL TERCER TIPO

Estrellas	Ascensión recta 1870			Declinación		Magnitud
<i>Omicrón</i> de la Ballena	2 ^h	12 ^m	47 ^s	+ 3°	34'	Variable.
<i>Alfa</i> de la Ballena	2	55	29	+ 3	34	Idem.
<i>Sigma</i> de Perseo	2	56	51	+ 38	15	Idem.
Schjell 44	4	45	11	+ 14	2	5
46	4	46	36	+ 2	17	5,5
<i>Alfa</i> de Orión	5	48	0	+ 7	23	Variable.
67	5	50	17	+ 45	55	5,6
<i>Alfa</i> de Hidra	9	21	12	- 8	6	-
Nueva	9	17	+	- 21	42	I
<i>Delta</i> de la Virgen	12	48	4	+ 4	6	-
160	13	22	37	- 22	36	Variable.
Arcturo	14	9	44	+ 10	52	I
178	15	30	27	+ 15	32	7,5
Antares	16	21	27	- 26	8	I
<i>Alfa</i> de Hércules	17	8	43	+ 14	33	Variable.
Nueva	18	14	40	+ 25	2	6
<i>Beta</i> de Pegaso	22	57	28	+ 27	23	2
266	23	0	27	- 8	42	2

En las estrellas rojas son más bien bandas que líneas de absorción las que se distinguen, y se asemejan á las bandas que produce nuestra atmósfera en el espectro solar. La línea D del sodio no se encuentra claramente definida como en los números 1 y 2 de la figura de la pág. 323, esto es, que no forma una línea doble, ni simple, sino una faja ó expansión sombreada por los bordes; parece esto indicar que dichas estrellas se encuentran rodeadas de una atmósfera de grandísima potencia absorbente, cuya naturaleza sólo se podrá averiguar con seguridad cuando se tenga un conocimiento más perfecto del influjo que ejercen la temperatura y la densidad de los gases sobre su propio espectro.

Unicamente unas treinta estrellas brillantes pertenecen á este tipo, y si se agregasen las de segunda magnitud, llegaríamos á obtener un ciento, poco más ó menos.

Según la observación de Secchi, es uno de los caracteres particulares de estas estrellas que las líneas más oscuras del espectro que separan las colum-

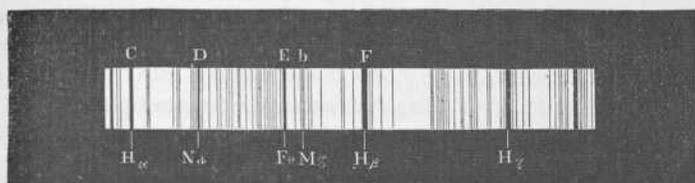


Fig. 195. - Espectro de Sirio: primer tipo

nas se presentan en el mismo sitio en todas ellas; las líneas que más se acusan son las del magnesio del sodio (D) y del hierro, que de igual manera que en el espectro solar se ven á menudo mal definidas. Las líneas del hidrógeno aparecen también, pero no predominan como en los tipos anteriores; el gas hidrógeno, por lo tanto, existe en estos astros, y si no se ven sus líneas características negras (C y F), como pasa, verbigracia, en *alfa* Orionis, según las observaciones de Huggins (figura referida, núm. 2), se explica la anomalía porque las líneas se *invierten* algunas veces y aparecen iluminadas, fenómeno que también se suele observar en el espectro de las manchas solares.

Como regla general, se asemeja muchísimo el espectro de estas estrellas al de las manchas solares, por lo que Secchi opina que las estrellas del tercer tipo difieren de las del segundo tan sólo por el mayor espesor de la envoltura gaseosa ó atmósfera que las rodea, y también por la falta de continuidad de sus fotosferas; parece, pues, que estas estrellas han de tener manchas como nuestro Sol, pero, en proporción, de dimensiones mucho mayores.

4.^o El cuarto tipo, que se compone de estrellas que no pasan de la sexta magnitud, se caracteriza principalmente por un espectro de tres bandas brillantes, separadas por espacios oscuros; la banda más brillante cae en el verde, y por lo general aparece ancha y muy marcada; la segunda, mucho más débil y con frecuencia poco visible, está situada en el azul, y la tercera, en el amarillo, se extiende hasta el rojo, en donde se separa en varias secciones.

Todas estas bandas luminosas presentan la particularidad de que son más

brillantes en el lado inmediato al violeta, en donde la luz termina bruscamente, mientras que hacia el rojo disminuye de un modo gradual hasta que desaparece.

Los espectros de esta clase se hallan, por lo tanto, en oposición directa con los del tercer tipo, en los que las bandas de columnas no son sólo dobles en número en el mismo espacio, sino también el máximo de luz se inclina hacia el rojo, al paso que la región más oscura se encuentra hacia el violeta. Los espectros de los tipos tercero y cuarto no pueden considerarse, por lo tanto, como simples modificaciones de un único espectro original, sino más bien como producido por substancias completamente distintas unas de otras.

La extremada debilidad de estas estrellas impide que puedan examinarse con ranura, de modo que las substancias que producen las bandas nos son muy imperfectamente conocidas; sus espectros, sin embargo, se asemejan al del carbono.

En este tipo se encuentran algunas estrellas muy curiosas, la mayor parte de color rojo de sangre y de magnitud escasa; ninguna pasa de la quinta magnitud, y á pesar de esto presentan una luz bastante viva; en algunas la zona media se divide en varias líneas distintas, y en otras son por completo uniformes. Con el prisma objetivo se resuelven estas líneas en zonas más vivas que el resto y no en verdaderas rayas metálicas.

He aquí una lista de las estrellas más hermosas de este tipo:

CATÁLOGO DE ALGUNAS ESTRELLAS PRINCIPALES DEL CUARTO TIPO

Número del catálogo de Schjellerup	Ascensión recta 1870			Declinación		Magnitud	Notas
41	4 ^h	37 ^m	47 ^s	+67°	56	6	Hermosa.
43	4	43	23	+28	18	8	
51	4	58	41	+0	59	6	
78	6	27	36	+38	33	6 1/2	Hermosa.
89	7	1	59	-11	43	7 1/2	
124	7	45	4	-22	25	6 1/2	
128	10	6	12	-34	41	7	
132	10	31	0	-12	43	6	Hermosa.
136	10	45	18	-20	34	6 1/2	
152	12	39	1	+46	9	6	Magnífica
159	13	19	52	-12	2	5 1/2	
163	13	47	39	+40	59	7	
229	19	26	10	+76	18	6 1/2	
238	20	9	30	-21	43	6	
249	21	26	3	+51	1	9	
252	21	38	59	+37	16	8,5	
273	23	39	45	+2	46	6	Hermosa.

Puede formarse una idea de los espectros de estas dos últimas categorías, que por brevedad se llaman de *columnata*, observando el espectro del nitrógeno en los tubos de Geissler excitados con mediana potencia eléctrica, en los que se distingue los espectros de persianas brillantes difusas, agrupadas en columnas separadas por zonas oscuras. Algunas de estas columnatas, sin embargo,

son de un todo irresolubles en líneas finas, y estos espectros se encuentran muy fácilmente en la química.

Además de estos cuatro tipos principales, hay otros grupos de estrellas que merecen una mención particular; á ellos pertenecen, por ejemplo, las estrellas que componen la constelación de Orión, y que por la finura de sus líneas espectrales debieran clasificarse en el segundo tipo; todas las estrellas de esta parte del cielo se distinguen por dos caracteres principales; todas presentan un color verde muy marcado, y las líneas de sus espectros son tan finas que se distinguen con gran dificultad. La región de la Ballena y del Eridano, por el contrario, es notable por el gran número de estrellas amarillas que contiene; no se concibe que semejante distribución pueda ser efecto de la casualidad, y parece más razonable suponer que dependa de la naturaleza y condiciones de la substancia de que están llenas diversas partes del universo.

Forman una notable excepción del cuarto tipo varias estrellas que presentan un espectro *directo* de hidrógeno y pueden clasificarse, según Secchi, en un tipo quinto; la más curiosa de todas es *gamma* de Casiopea, en cuyo espectro, según las medidas de Huggins, aparecen las líneas *H alfa* (roja) y *H beta* (azul verdosa) en lugar de las rayas negras C y F, y además otra línea brillante en el amarillo que aparentemente coincide con D_3 ; la presencia de esta raya no se ha comprobado de un modo absoluto.

Espectros análogos se han observado en las estrellas variables *beta* de la Lira y *eta* del Navío, en cuyos espectros vió Le Sueur con el gran telescopio de Melbourne las líneas C, *b* F, una línea amarilla cerca de D (D_3 ?) y la más intensa de las del nitrógeno, todas brillantes; los mismos fenómenos se observaron también en dos estrellas efímeras, de lo cual hablaremos más adelante.

De todas estas observaciones parece resultar que, cuando menos, las estrellas de mayor brillo tienen una constitución física semejante á la de nuestro Sol; su luz irradia, como la del luminar del día, de una materia en estado de incandescencia suma, y pasa á través de una atmósfera de vapores absorbentes; á pesar de esta conformidad de estructura hay, empero, grandes diferencias en la constitución de las estrellas entre sí; la agrupación de los diversos elementos es peculiar y característica de cada estrella, y debemos suponer que aun estas particularidades individuales están en perfecto y necesario acuerdo con el objeto especial de la existencia de la estrella y de su adaptación á la vida animal de los mundos planetarios de que se encuentra rodeada.

El estudio espectral de los cuerpos celestes, á pesar del corto número de años que cuenta de existencia, ha dado resultados de inmensa importancia, y con satisfacción debemos ver cuánto progresa y se extiende este maravilloso método de investigación. La Sociedad Real ha puesto á disposición de Huggins un hermoso antejo de 36 centímetros de abertura, montado ecuatorialmente, para que se ocupe de un modo exclusivo de este género de estudios. Los astrónomos Vogel y Arrest emplean con el mismo objeto refractores de 25 y 30 centímetros; si se utilizaran asimismo los grandes instrumentos de reflexión, como el de lord Rosse y el nuevo del Observatorio de París, para no hablar de la gigantesca ecuatorial de Washington, etc., no hay duda de que se descubrirían nuevas é inesperadas maravillas, sobre todo si se instalaran estos instrumentos

en lugar oportuno, como, por ejemplo, en la cúspide del Etna en la Sicilia, y mejor aún en el vértice del Pico de Mulhacén en la cordillera de Sierra Nevada en España. En estos parajes presenta la atmósfera una transparencia excepcional, infinitamente superior á la de las ciudades, en cuyas cercanías se obstinan los astrónomos en seguir observando, á pesar de sus condiciones desfavorables.

Los hechos que acabamos de exponer nos indican que hay una analogía grande entre el Sol y ciertas estrellas, y tenemos necesidad, por consiguiente, de reunir algunas breves ideas sobre la constitución del astro central para comprender con menos trabajo la composición de los demás soles lejanos.

Siendo el Sol, pues, una estrella más próxima que las demás y menos inaccesible á nuestras miradas, nos permite formular algunas hipótesis sobre la constitución de los astros lejanos.

Hoy día se sabe, según demostramos antes, que el Sol es una masa incandescente cuya superficie externa está dotada de grandísima movilidad, y que presenta todos los accidentes propios de una masa fluida gaseosa ó semejante á nuestras nubes. De su parte interior nada sabemos, pero la estructura externa obliga á suponer que dicho estado se extiende á gran profundidad.

La estructura del estado superficial luminoso, ó fotosfera, se asemeja á la de una masa fluida en la cual se hallaran suspendidos infinitos granos ó puntos más brillantes, por lo cual presenta un aspecto reticular; las líneas negras que se encuentran en el espectro solar, conocidas con el nombre de rayas de Fraunhofer, se producen por absorción, esto es, que los rayos que faltan en el espectro son absorbidos por los vapores constituyentes de una de las envolturas solares, invisible por lo común, pero que, sin embargo, se manifiesta en circunstancias determinadas. Sin esta envoltura presentaría el Sol un espectro continuo como los gases incandescentes bajo fuertes presiones, ó todo lo más, se hallaría surcado por líneas más brillantes; durante los eclipses solares se distingue este estrato absorbente, por lo general de poca altura, y sólo se eleva en ocasiones determinadas cuando se verifican las crisis que llamamos erupciones.

La consecuencia que naturalmente resulta de los hechos expuestos es, en primer lugar, que la naturaleza de la materia constitutiva del Sol y de muchas estrellas es en un todo idéntica. Siendo de naturaleza solar los espectros de segundo orden, se puede asegurar, pues, sin temor de equivocarse, que estas estrellas tienen, no sólo la misma composición química que el Sol, sino también igual grado aproximativo de densidad atmosférica y de temperatura.

Pero, como es muy natural, no hay que suponer que tantos y tan diversos cuerpos tengan rigurosamente la misma proporción en la calidad y densidad de las substancias; por ejemplo, gran parte de las estrellas están dotadas de una atmósfera hidrogénica más densa, al paso que en otras es más escasa y predominan otros vapores absorbentes, metálicos ó no. La mayor densidad hidrogénica se deduce del hecho de que las líneas pertenecientes á este gas aparecen dilatadas y difusas.

Plücker y Cailletet demostraron que á una presión considerable se dilatan por el borde las líneas del hidrógeno, y que si la presión es extraordinariamente poderosa, se hace el espectro continuo. De tales extremos distamos mucho en

cuanto á todas las estrellas visibles (salvo quizás *gamma* de Casiopea), de lo que se deduce que la presión no es en las estrellas muy superior á unas cuantas atmósferas, según las medimos aquí en la Tierra. Pero no todo depende de la presión, porque se ha demostrado que hasta la elevación de la temperatura ensancha las líneas, de modo que la causa pudiera ser ésta muy bien, ó mejor las dos juntas, pues aun con la temperatura crece la tensión molecular del gas, y por tanto la presión. Así, pues, las estrellas del primer tipo estarían dotadas de una atmósfera hidrogénica más densa y más cálida. Sus rayas metálicas serían más difíciles de percibir, tal vez por la resistencia que ofrece al paso de los rayos la gran extensión de dicha atmósfera hidrogénica, lo que es verdad, pues apenas se perciben.

Al observar, no obstante, que muchas de estas estrellas presentan rayas más distintas, y que ocupan un lugar intermedio entre el primero y segundo tipo, nos vemos obligados á deducir que la constitución de ambos tipos es idéntica en cuanto á la naturaleza de las materias, y que difieren sólo en el grado de mayor ó menor densidad atmosférica y elevación de temperatura.

Aunque la dificultad de distinguir en ciertos casos el segundo tipo del tercero y el ver cómo las del primero, al cambiar de color, tienden á hacerse del tercero, indica una escala gradual de transformaciones que se derivan, no de substancias absolutamente diversas, sino del predominio de unas sobre otras. El hecho de que algunas, como Aldebarán y Arcturo, se aproximan al tipo tercero y muestran trazas de zonas cuando se ven de color rosado, adquiriendo así un espectro análogo al de las manchas solares, demuestra que aun en esas estrellas se presentan erupciones periódicas semejantes á las de nuestro Sol, y siendo en este caso su tipo análogo al que se halla en medio de los núcleos de las manchas, prueba que esas estrellas están dotadas de densas atmósferas de vapores metálicos con erupciones y emisiones variables con el tiempo. En ellas domina el sodio, el hierro, el calcio, y otras materias absorbentes, y quizás tengan también una temperatura más baja, como sucede con las manchas solares. Así, pues, las variaciones de estas estrellas se reproducirían por una sencilla modificación en la fuerza absorbente, que sería mayor unas veces y otras menor.

Hemos dado cuenta ya de que la estrella *omicrón* de la Ballena se compone durante su mínimo de simples rayas destacadas, debidas quizás á las poderosas contracciones y dilataciones de sus zonas de absorción; es probable que las estrellas del cuarto tipo, y otras, aparezcan pequeñas tan sólo por la absorción que experimenta su luz.

No obstante, los espectros de las estrellas de los tipos tercero y cuarto parecen indicar una constitución algo distinta, y en particular un exceso de ciertos elementos que faltan, ó son escasísimos, en los dos tipos precedentes. Como ya dijimos, no pueden estos espectros considerarse como simples realmente, pues están compuestos de dos, uno formado de rayas de absorción metálica, el otro de zonas continuas y difusas, y entrambos presentan una depresión como la que se observa en el espectro de ciertas substancias químicas; estas estrellas exhiben zonas difusas que en realidad no se descomponen en líneas; los espectros de esta clase se encuentran rara vez en los elementos terrestres y queda aún por hallar á qué substancias pueden pertenecer.

El P. Secchi llegó á obtener uno bastante parecido á los de algunas estrellas rojas, como la 152 de Schjellerup y otras varias de tres zonas, por medio de la chispa eléctrica descargada en vapores de bencina mezclados con aire atmosférico; el aparato empleado consistía en un globo con cuatro tubos colocados en las extremidades de dos diámetros perpendiculares; en dos de ellos se introducen unos refóforos de platino; otro de los tubos se coloca inmediato al espejito del espectroscopio, y el restante se deja libre para que circule el aire y para evitar las explosiones que pudieran ocurrir; un poco de bencina que se evapora en el globo produce la atmósfera que se ilumina con el paso de la descarga. El espectro que se obtiene presenta unas zonas complementarias que corresponden perfectamente con las del espectro estelar; con medios muy poderosos parecen lineales las zonas estelares, pero estas líneas son simples variaciones de intensidad, semejantes á las estrías del nitrógeno en el espectro de primer orden, y no líneas aguzadas, según comprobó Secchi examinando con el prisma objetivo las zonas de la estrella 152 de Schjellerup.

Este espectro, en su base, corresponde indudablemente al carbono; la posición de las rayas medidas con el micrómetro se lo había indicado ya á Secchi y la superposición de la bencina se lo confirmó; pero como no veía las estrías conocidas del espectro carbonoso que se obtiene en la base de la llama y en los tubos de Geissler, quiso asegurarse del hecho mediante la cinta luminosa que aparece entre los carbones de una potente pila. Para efectuar esta observación de un modo decisivo, proyectó el arco luminoso que separa los carbones (con la linterna eléctrica que sirve para la proyección de los carbones) sobre un cartón agujereado en el centro, detrás del cual se colocaba la ranura de un espectroscopio muy poderoso; haciendo caer entonces la parte central del arco eléctrico sobre la ranura, de modo que apareciesen bastante lejos las imágenes de ambos carbones, se veía en el campo un espectro hermosísimo que se debía al carbono y á su óxido. El espectro se hallaba formado por zonas continuas difusas y rayas luminosas brillantes de intensidad gradual; las zonas son indiscomponibles en líneas distintas en el espectro de este arco.

Mas este espectro toma una apariencia diversa en los varios casos prácticos según las combinaciones del carbono; en los tubos ordinarios de Geissler, y en la llama de una bujía en la base del pábilo, donde se ve una zona azul luminosa, aparecen acanaladas, esto es, surcadas por zonas menores. Lo mismo ocurre con las diversas combinaciones del oxígeno y del hidrógeno con el carbono, como verbigracia el acetileno, y también por la simple impureza de los tubos empleados, de manera que los espectros del carbono que dan varios autores son muy diferentes. Probablemente, las distintas rayas luminosas que vemos en estos espectros son las mismas líneas vivas metálicas que se observan en el espectro del arco eléctrico, pero que se hacen difusas por la falta de temperatura suficiente para dar las líneas de carbono puras y separadas por completo de las de su óxido. Parece, por tanto, que las tres zonas principales de las estrellas del cuarto tipo han de ser las *a b c* del espectro del carbono. Las últimas serían in visibles á causa de su debilidad.

En cuanto á la naturaleza de estos espectros diremos que el de columnas irresolubles parece debido á los óxidos y el de líneas finas á la substancia ele-

mental; además, estas mismas líneas son distintas según la temperatura del cuerpo y el modo de emitir la luz, y según el componente que se asocia al carbono de los gases en cuya composición entra. Si, pues, en el arco eléctrico se dirige el espectroscopio, no sobre la parte central gaseosa, sino sobre los carbones que siempre son impuros y están por lo tanto mezclados con vapores de polvos metálicos, se tienen también, en este caso, los espectros superpuestos de zonas y de rayas de diversos metales, además de los del carbono.

Los recientes estudios químicos de Lockyer han demostrado que era verdad la sospecha indicada de que los espectros de zonas acanaladas se deben á los óxidos, y las líneas á los cuerpos elementales. Los óxidos pueden subsistir cuando la temperatura no es muy elevada, de donde es dado admitir que las estrellas que presentan estas zonas han de tener una temperatura menos alta que las que dan únicamente rayas metálicas lineales. Diremos aquí, incidentalmente, que en la fusión del platino en los crisoles de cal se obtienen las líneas del óxido de calcio difusas, pero en el Sol se tienen lineales las del metal, de lo que se deduce que el Sol y ciertas estrellas tienen temperaturas superiores al platino fundente.

El espectro del tipo cuarto parece, pues, del carbono en cualquiera de sus múltiples formas; no hay que ocultar que no siempre se ha hallado la coincidencia exacta de las rayas estelares con las del gas, como sería menester para establecer semejante identidad con los espectros terrestres; pero no hay que dar á este punto más importancia de la que realmente tiene.

Primeramente, las líneas están bastante próximas y dentro de los límites que aprecian las medidas; segundo, esta substancia tiene un espectro muy variable según los elementos con que se halla asociada. Por otra parte, las distancias de estas zonas siguen la misma proporción en las estrellas que en el gas, al menos para ciertos componentes, de modo que se hace difícil negar la intensidad de su origen por una pequeña diferencia cualquiera en los límites, lo cual puede explicarse de otra suerte. No debe sorprender, pues, que este elemento se encuentre con bastante profusión en las estrellas, después de haberse visto que se halla en abundancia en ciertos aerolitos y después que los cometas nos han demostrado el espectro directo de esta substancia combinada con el oxígeno y el hidrógeno. Se ha averiguado que los meteoros carbonosos no contienen realmente sino una dosis muy corta de carbono, y que en el resto no difieren mucho de los demás, y lo propio pudiera suceder con estas estrellas. Una pequeña adición de carbono á los elementos químicos comunes pudiera producir una variedad inmensa en la naturaleza proteiforme de estos elementos.

Da el carbono un espectro tan diverso para cualquiera cantidad que se le mezcle, por pequeña que ésta sea, que es difícil de establecer en qué condiciones se halle, y de esto nacen, probablemente, todas las divergencias que se han encontrado. Así, por ejemplo, el óxido de carbono y el hidrógeno carburado tienen las mismas zonas, pero en uno la parte media es la más viva, y en el otro, por el contrario, es la más débil.

Es muy importante la confrontación de los dos tipos tercero y cuarto, los que, á primera vista, parecen análogos, pero no lo son en realidad. Tomaremos como base del tercer tipo la estrella *alfa* de Hércules, y para el cuarto la estre-

lla 152 del catálogo de Schjellerup, por ser la más hermosa de esta especie ($A R = 12^h 39^m D = +46^\circ 9'$), que por esto mismo fué llamada *la Soberbia*. He aquí cómo describe el P. Secchi el aspecto de este astro en el momento en que lo encontró: «Magnífico objeto del cuarto tipo; es verdaderamente singular por su viveza; su color es rojo de sangre. El espectro se compone de tres zonas bastante luminosas y anchas; una amarilla, otra verde y la tercera azul; el color rojo, que es de por sí más obscuro y débil, también se encuentra, pero brilla poco. Todas las zonas son bastante luminosas, bien limitadas hacia el violeta y difusas en la parte que cae hacia el rojo. El contorno de las zonas está reforzado por rayas vivas en el extremo, y en el amarillo parecen dos hilos de oro, de igual modo que en el azul y en el verde, por más que no sean tan vivas. Es digno de observarse que mientras que las curvas de la luz y las estrías de este tipo cuarto se inclinan al violeta, en el tipo tercero se dirigen al rojo; las líneas divisorias del resto no coinciden todas en ambos tipos, pero sí algunas, y también dos á dos. alguna semejanza hay entre este espectro y el de los cometas.»

Esta estrella lleva el núm. 4.287 del catálogo de la Asociación Británica; de as numerosas comparaciones efectuadas se obtuvieron también los resultados siguientes, confrontándola primero con Arcturo y luego con *alfa* de Hércules.

1.º La D del sodio no corresponde con la primera línea oscura de la estrella 152 Sch., pero sí con una zona más débil, si bien la *b* de Arcturo concuerda con la negra de 152 Sch. situada en el verde. Ahora bien, *b* en Arcturo corresponde al magnesio, y aunque dista muy poco del carbono, no prueba la coincidencia que también la raya de la 152 sea del magnesio, y muy bien pudiera ser del carbono.

Esta conclusión se obtuvo primero con el espectroscopio simple y fué confirmada luego con el mismo carbono, usando el espectroscopio de ranura. En Arcturo corresponde la D á la zona débil de la estrella 152, que es del carbono; pero ésta no es una verdadera línea, sino una sencilla expansión oscura; el 15 de mayo de 1869 se confrontaron entre sí las rayas del carbono, del sodio y del magnesio. Por la noche se midieron las mismas distancias de las líneas metálicas respecto de las líneas de la estrella, y se halló una coincidencia perfecta en todas las líneas principales del carbono que se pudieron medir; y sólo se notó una dislocación debida, probablemente, al cambio de espectroscopio.

2.º El espectro de la estrella es inverso del correspondiente á la bencina; su inversión es perfecta en las dos zonas primeras, y menos satisfactoria en la tercera; faltan en la estrella, además, las líneas brillantes del hidrógeno C, que se hallan en la bencina, y otra *c* en el amarillo, del aire tal vez, ó directa del carbono puro. También tiene una ráfaga de rojo brillante que no se pudo medir. Se efectuaron comparaciones directas entre la estrella y la bencina, y se vió con toda certidumbre la coincidencia de las zonas, llevando en cuenta, sin embargo, su inversión; pero eran bastante difíciles, porque el espectro de la estrella conserva la iluminación, y el de la bencina se transforma en un espectro lineal á cada alteración eventual de temperatura y á cada oscilación del aire; en las extremidades de las partes claras hay sobre la estrella líneas más vivas, pero examinadas con el prisma objetivo se vió que no eran verdaderas líneas metálicas, sino sólo zonas difusas más brillantes.

En la estrella del tercer tipo, y principalmente en *alfa* de Hércules, la raya negra del verde no coincide precisamente con el magnesio, sino que se encuentra un poco hacia el rojo, pero no mucho más de lo que dista el carbono del magnesio, conservándose D en su puesto; ya sabemos que aun en la 152 se encuentra en este sitio una difusión débil y oscura, de modo que la substancia parece ser, en este caso, también carbono; en *alfa* Hércules la zona ancha única estaba dividida profundamente en el punto en que ya se percibe una pequeña depresión aún en el carbono, en el punto inmediato á D. Hasta la luz viva que se ve en el espectro de la bencina cerca de ϵ , coincide con una línea negra de *alfa* de Hércules y produce divisiones de columnas.

Infinitas medidas han probado que los intervalos entre ciertas zonas negras de ambas estrellas se combinan perfectamente con las del carbono, probablemente con su óxido. Solamente habría la diferencia importante de que en el tipo tercero son las zonas directas, y en el cuarto se hallan invertidas. El que conozca la variedad infinita de los espectros carbonosos hasta aquí hallados por los químicos, no se sorprenderá de estas diferencias.

No queremos continuar cansando al lector con estos detalles, de modo que, para concluir este punto, diremos que *los espectros estelares del primero y segundo tipos tienen líneas de absorción debidas á los vapores metálicos, como el Sol; los del tercer tipo y principalmente del cuarto, además de las rayas metálicas, presentan también las de otros gases, y muy probablemente las del carbono en estado de óxido ó en otra combinación, y por lo tanto deben de tener una temperatura inferior á la de los otros dos tipos.*

El espectroscopio también nos ha revelado en el cielo otro hecho importante: que por lo común las estrellas de un mismo tipo son mucho más numerosas en un mismo lugar del cielo; así, por ejemplo, en las Pléyades, el Toro, la Osa mayor, etc., domina el espectro del primer tipo; en el Eridano, la Hidra, etc., domina el amarillo. En Orión son del primer tipo generalmente, pero con líneas finísimas, y tantas, que podrían colocarse también en el segundo, aunque con rojo proporcionalmente escaso, pues parece que se ven como á través de un velo verde. ¿Será esto efecto de la masa nebulosa á cuyo través se perciben? Por otra parte, es caso frecuente encontrar dos ó tres estrellas rojas cerca de una principal del mismo color.

De aquí se podría colegir que las estrellas están distribuídas en grupos naturales formando grandes sistemas, conclusión confirmada por otros hechos.

El espectroscopio nos da también la explicación de otros fenómenos estelares, pasajeros algunos de ellos, como *el centelleo* de las estrellas; otros permanentes, como su variabilidad. Nos ocuparemos ahora del primero.

Entre los fenómenos más hermosos que ofrece la contemplación del cielo se encuentra el centelleo de las estrellas; se llama así, y también escintilación, á la luz que lanzan, ora viva, ya débil, blanca unas veces, roja ó verde otras, á guisa de reflejos de un diamante, que arrebatan al observador más indiferente; cuya explicación no está exenta de algunas dificultades. Hemos preferido tratar el asunto en este sitio porque su análisis hubiera sido incompleta antes de conocer el método espectrométrico.

En primer lugar, es cosa indudable que el fenómeno no se debe á la estrella

en sí misma, sino que se produce en el paso de sus rayos á través de nuestra atmósfera, según sus condiciones y variabilidad; en la cima de los montes más elevados, si hemos de dar crédito al testimonio de observadores eminentes, y en particular sobre el Etna, al decir de Tacchini, la luz de las estrellas es tranquila como la de los planetas; del propio modo es tranquila en las horas de calma que precede por lo general á la aparición de las nubes que cubren el cielo cuando cae el viento; también es tranquila en las regiones de calma en el ecuador.

La vibración es ordinariamente más viva cerca del horizonte y disminuye con la altura del astro, esto es, con la disminución del espesor de la capa atmosférica agitada que atraviesan los rayos; pero en los días de viento impetuoso, en particular del Norte, se aumenta de un modo notable hasta una altura grande, y á veces hasta el cenit. De aquí, por consiguiente, se deduce que el movimiento de las ondas atmosféricas es una de las condiciones necesarias para la producción del fenómeno.

Pero á la simple vista no es posible estudiar escrupulosamente todas sus fases, y los instrumentos nos revelan mejor su mecanismo. Mirando las estrellas en las noches agitadas y de mucho centelleo, á través de un instrumento poderoso, se ven sus imágenes difusas, mal terminadas, circundadas de rayos y casi compuestas de muchas imágenes superpuestas dotadas de movimientos rapidísimos; no presentan, en verdad, aquel pequeño disco rodeado de tranquilos anillos, producidos por la difracción dependiente de la abertura del objetivo, y que al propio tiempo son medida de la tranquilidad del aire. Con instrumentos medianos, capaces de presentar mayor campo que los grandes, se observa que dando una ligera sacudida al tubo del antejo, como un golpe seco con las yemas de los dedos, la imagen única se transforma en una curva luminosa cuyo perímetro está formado por arcos sucesivos distintos, de los colores del iris.

A la simple vista parece que las estrellas cambian continuamente de lugar, pero esto no es cierto. Las estrellas sufren realmente oscilaciones á causa de los movimientos de la atmósfera, según se observa con la polar cuando se encuentra en el meridiano, y á estas oscilaciones se deben en gran parte las inexactitudes de las observaciones de posición absoluta; pero la simple oscilación es poca cosa, y como no pasa de unos cuantos segundos de arco, vendría á ser imperceptible á la simple vista; en los mismos anteojos se ve que es un fenómeno bien distinto del centelleo y del cambio de color que lo acompaña, porque con frecuencia oscila la estrella, sin mudar de color y sin presentar imágenes variables. A menudo oscilan los planetas en el borde, pero no centellean, excepción hecha de Venus en casos particulares, y especialmente cuando presenta fases muy estrechas.

Esta diferencia entre ambos fenómenos se hace evidente con el empleo del espectroscopio.

Observando una estrella centellante próxima al horizonte, cuyo espectro presente rayas negras muy acusadas, como, por ejemplo, Sirio, permanecen las líneas inmóviles, mientras que grandes ondas luminosas recorren el espectro. Esta inmovilidad de las rayas espectrales en medio del movimiento de las ondulaciones fué observada por varios astrónomos, invitados al efecto por Secchi, en

el Observatorio del Colegio Romano; las ondulaciones van recorriendo todo el espectro, debilitando y reforzando sucesivamente todos los colores, y caminan unas veces en sentido vertical y oblicuo otras. La estabilidad de las rayas negras es, por tanto, un indicio seguro de que la estrella en realidad no se movía, y de que todo el fenómeno consistía en un refuerzo sucesivo y una debilitación que sufrían los colores espectrales, cuyas variaciones son la causa primera del centelleo.

Para semejantes movimientos ondulatorios estableció el P. Secchi algunas leyes que fueron confirmadas posteriormente por Respighi.

1.º Espectro vertical, estrella al oriente; las ondas espectrales caminan hacia el rojo, sea la que quiera la posición del espectro producido por el prisma, y bien esté el extremo rojo en la parte superior ó en la inferior.

2.º Espectro vertical, estrella al occidente; caminan hacia el violeta, ya se halle este color abajo ó arriba.

3.º Espectro horizontal; las ondas caminan oblicuamente progresando hacia el rojo ó hacia el violeta, según que la estrella se encuentra en el cielo oriental ó en el occidental.

De modo que la marcha de las ondas es independiente de la posición del prisma, y sólo se halla sometida á la situación de las estrellas según que éstas se encuentran á Levante ó á Poniente.

No es difícil averiguar dónde se encuentra el origen de estas ondulaciones; sabemos que la atmósfera, cerca del horizonte, hace el oficio de un prisma y que produce un espectro que se puede medir perfectamente, el cual en el ante-ojo presenta el violeta abajo y el rojo en la parte superior; y como el ante-ojo invierte las imágenes, la posición verdadera del rojo es en la parte baja y la del violeta en la alta; el rayo más refrangible es el más elevado, como ocurriría mirando la estrella con un prisma cuyo vértice se dispusiera hacia arriba.

La longitud de este espectro la halló Bessel igual á algunos segundos; Struve, á $88^{\circ} 33'$ de distancia cenital obtuvo $22''$ en su diámetro vertical, mientras que en el horizontal era de $8''$, quedando así $14''$ para la verdadera dispersión. El P. Secchi lo midió varias veces en 1865 y entre el rojo medio y el azul medio encontró $2'',8$ á 80 grados de distancia cenital. Teóricamente, según los cálculos de Montigny, del rojo al violeta debiera haber un espacio de $4'',5$ á 80° de altura. Las dimensiones, empero, de este espectro cerca del horizonte no son notables porque se alarga y se acorta visiblemente, y á veces alcanza un tamaño doble que en otras circunstancias; en estas dilataciones parece que el violeta se destaca sobre los demás colores, fenómeno observado también por Donati.

En este espectro natural se observan las mismas ondulaciones que en la combinación espectroscópica, si bien son mucho menos sensibles; en el espectroscopio tenemos además la superposición de dos espectros, esto es, uno debido á la dispersión del prisma y el otro á la dispersión de nuestra atmósfera. Es fácil descubrir materialmente que, en una posición del prisma, el espectro de la estrella es más largo porque las dispersiones se suman, y en la opuesta es más corto porque en parte se compensan las dispersiones, puesto que la dispersión atmosférica es muy pequeña en comparación con la del prisma.

De estos hechos resulta que las ondas luminosas que se ven discurrir por el

espectro de las estrellas cercanas al horizonte, nacen evidentemente de las variaciones que sufre el espectro de la estrella producido por nuestra atmósfera. En efecto, las palpitaciones del espectro atmosférico largo ó corto, ó interrumpido, combinándose con el espectro constante del prisma, deben producir en éste variaciones de intensidad luminosa y de tono, según que los colores se suman ó se destruyen.

Con arreglo á tales hechos, la explicación del centelleo se reduce á definir cuál será la causa que produce los cambios de color en el espectro estelar atmosférico.

Supuso Arago que esto dependía de la interferencia de los rayos inmediatos que pasan á través de los estratos de aire de densidad desigual, desigualdad que hace que uno de los rayos se detenga una media onda respecto del otro, y venga á inferir las ondas de cierta longitud determinada; y permaneciendo las otras invariables, aparece la estrella del color complementario del destruído; si éste era el rojo, permanecía verde la estrella, etc. Aunque esta teoría es ingeniosa, no satisface por completo, pues es difícil de hallar en la transmisión de las ondas aéreas las condiciones delicadas de la interferencia de los rayos.

Montigny indicó la diversa refracción que sufren los rayos que pasan á través de las distintas capas atmosféricas; notó este observador que el espectro que entra en el ojo está formado por los rayos que han atravesado diversas columnas de aire.

Esto se prueba considerando, como hacía Donati, el mecanismo de la visión de la estrella á través del prisma atmosférico. «Un rayo primitivamente blanco se descompone, al atravesar la atmósfera, en varios rayos elementales, diversamente colorados y divergentes entre sí, de modo que, si uno de ellos, por ejemplo, el rojo, llega al ojo del observador, no podrá llegar al mismo tiempo el violeta, que, más refringido, se encontrará más abajo. El rayo violeta que llega al ojo del observador no pertenece, pues, al mismo rayo blanco de que procede el rojo, sino á otro rayo blanco emanado igualmente de la estrella, pero que ha penetrado en la atmósfera por un punto situado encima de aquel por donde entró el rayo blanco, que produjo el rojo existente en el espectro solar.»

Mossotti obtuvo por el cálculo que los rayos que daban el rojo y el violeta extremos á $83^{\circ} 33'$ debieran distar á su ingreso en la atmósfera $8^m, 78$. Habiendo, pues, recorrido los rayos que llegan al ojo diversos caminos en la atmósfera, y ofreciendo ésta distintas densidades y refringencia, no es de extrañar que se desvíen desigualmente y que produzcan las variaciones de refracción y de sitio que hemos indicado.

Para comprender bien esta teoría, es necesario traer á la memoria el mecanismo de la visión á través de los prismas. Si un rayo de Sol entra por una rendija y atraviesa un prisma cuya arista refringente es paralela á la rendija y se encuentra dirigida hacia arriba, se obtendrá en un cartón el espectro con el rojo en la parte superior y en la inferior el violeta; pero si en lugar del cartón se coloca el ojo, y se mira la ranura á través del prisma, aparecerá éste con el rojo abajo y el violeta arriba, porque es evidente que como el espectro presenta mayor anchura que la pupila, no puede ésta recibirlo todo, y si lo ve completo es porque llegan á ella rayos que han caído sobre el prisma con distinta oblicuidad.

Esto es lo que ocurre con la estrella, por donde se ve que el rayo violeta que llega al ojo, arrancó de un punto más alto que el rayo rojo.

No contento con esto Montigny, recurre también á la reflexión total dentro del aire, que pudiera desviar el rayo y separarlo por completo del ojo. Bastarían asimismo, para la explicación del fenómeno, las simples ondulaciones atmosféricas, las que obrarían de igual manera que si fuesen ondas líquidas.

Si en un estanque de agua tranquila y transparente caen los rayos solares, se iluminará el fondo uniformemente; pero si la superficie se agita y forma ondas, se verán en el fondo unas listas de colores prismáticos que caminan con rapidez. Un punto blanco, fijo en el fondo, se colora sucesivamente de rojo, amarillo, verde, azul, etc. Si se colocase el ojo en este punto, vería que el objeto luminoso se coloraba de rojo, verde, etc., según el rayo que lo recorriera, sin que tuviese para ello que cambiar de sitio. Lo propio sucede cuando se ve una luz lejana á través de un prisma giratorio, como, por ejemplo, los que sirven de adorno á las arañas. Un rayo luminoso que parte de una estrella atravesando la masa atmosférica, se desvía más ó menos hacia arriba ó abajo, según que encuentra en su camino un sistema de ondas que por su densidad aumenta ó disminuye la refracción, y por lo cual eleva ó deprime el espectro producido en el momento mismo de la dispersión. Este espectro movable pasa por delante de la vista del observador y produce la sensación de tal ó cual color, dejando inmóvil casi la estrella, que cambia de color, pero no de sitio.

La luz natural de la estrella debe, pues, considerarse como compuesta de dos partes: una blanca y constante, aunque producida, como decimos, por la recomposición continua de los rayos espectrales simples; la otra variable, que va hiriendo poco á poco nuestro ojo, ora con un color, ya con otro. A la primera de estas masas de rayas se debe la imagen persistente que se ve en el espectroscopio con las rayas fraunhoferianas, sensiblemente fijas; á la otra se debe el espectro atmosférico que va recorriendo el espectro fijo formado por el prisma, y esta segunda parte es la que unas veces aparece reforzada y otras más débil en cada color. Porque si el rojo cae sobre el mismo rojo, este tono será más vivo; pero si cae sobre el verde, se debilitará, formando así una luz blanca que irá á unirse al espectro fijo de la estrella producido por el prisma.

Tal es, por tanto, la explicación del hecho fundamental del centelleo, que abarca y comprende las ideas que diversos físicos emitieron antes aún del invento del espectroscopio.

Tenemos, sin embargo, otros hechos accesorios que nos han sido revelados por este instrumento y que exigen una explicación.

Hemos dicho que las ondas luminosas van recorriendo el espectro en una dirección determinada; que para las estrellas de Levante es hacia el rojo y para las de Poniente hacia el violeta.

Por más que esto no sea rigurosamente constante, porque á menudo se ve lo contrario, y en particular en las noches en que el aire está agitado, no es fácil definir el sentido del movimiento; sin embargo, esta marcha es por lo general constante en aire tranquilo. Debe nacer primeramente de la sucesión relativa de las ondas aéreas, las cuales se propagan con cierta regularidad en una dirección dada. Observaremos, en primer lugar, que todos los estudios de Sec-

chi se hicieron durante las primeras horas de la noche; luego, como la atmósfera está más caldeada á Poniente del observador, en donde se encuentra el Sol, que en el cielo oriental, el curso ó movimiento del aire debe dirigirse de un modo opuesto en las dos regiones contrarias del horizonte.

El profesor Respighi invoca el movimiento de rotación de la Tierra como causa influyente en semejante fenómeno óptico; según el P. Secchi, también pudiera admitirse esta explicación. El aire hace siempre el oficio de prisma, y como la estrella de Poniente baja en virtud de la rotación terrestre, tenderá á aumentar la refracción y á elevar todo el espectro, de tal modo que éste se dirigirá hacia el violeta; en la parte de Levante, por el contrario, como la estrella va subiendo, disminuye la refracción y tenderá á bajarlo, y por lo tanto se dirigirá hacia el rojo. Si el aire estuviese inmóvil, se efectuaría este movimiento con una continuidad rigurosa; pero á causa de sus oscilaciones tiene lugar á saltos, de manera que, suspendido por un instante en una fase de la onda, se hace más rápido en la siguiente, produciéndose así el movimiento progresivo; pero como el movimiento de las ondas espectrales es incierto y á menudo contrario cuando los vientos soplan con impetuosidad, es evidente que á lo menos esta causa no es la única y tal vez tampoco la principal.

En conclusión:

- 1.^o El fenómeno del centelleo es atmosférico.
- 2.^o Consiste en un cambio sucesivo de la intensidad y del color de la estrella, con pequeñas variaciones de lugar.
- 3.^o Depende de la fuerza dispersiva de nuestra atmósfera.
- 4.^o La ondulación aérea hace que lleguen al ojo, sucesivamente, los diversos rayos coloreados del espectro de la estrella producido por la atmósfera, y da lugar á la variación de color.
- 5.^o Si la ondulación es muy fuerte, puede también desviarse la imagen por completo del ojo y eclipsarse la estrella un instante; pero esto es raro.
- 6.^o La estrella permanece sensiblemente inmóvil porque el aire hace las veces de un prisma muy distante que con sus pequeños movimientos angulares envía á la retina rayas de diversas coloraciones del espectro, mientras que la parte principal de la imagen resulta de una continua recomposición de los diversos colores superpuestos rápidamente.

En un cielo transparente, en particular en los climas tropicales, no se presentan las estrellas como en nuestras latitudes, con la blancura del diamante; aquí y acullá se descubren con destellos rojos, azules, amarillos, en suma, de todos los colores imaginables, y por su brillo y hermosura pudiera decirse que eran rubíes, esmeraldas y zafiros los puntos luminosos que tachonan la celeste bóveda.

Estos colores son más notables aún en las estrellas binarias, llamadas así, según vimos en las páginas anteriores, porque son grupos de dos ó más soles que mutuamente se sostienen por atracción y que giran en sus órbitas en relación con sus masas, ora uno en torno del otro, ya ambos alrededor del centro común de gravedad.

A la simple vista presentan el aspecto de una sola estrella, á causa de su estrecha proximidad; pero analizándolos con un telescopio de poder suficiente, se

dividen y separan en dos, tres, cuatro ó más soles en íntima conexión; uno de los sistemas más hermosos se encuentra en la constelación de Orión, y se compone de diez y seis estrellas que á la simple vista parecen una sola. En algunos de estos grupos, cuyo número pasa de 6.000 en la actualidad, se ha podido calcular el tiempo que emplea la estrella satélite en verificar su revolución; también de esto nos ocupamos extensamente en otro sitio; pero bueno será recordar que una de ellas, situada en la Osa mayor, emplea 60 años; otra, de la Virgen, 513, y *gamma* Leonis, 1.200.

La diversidad de colores que exhiben las estrellas binarias les presta un interés mayor; así como casi todas las estrellas simples brillan con luz blanca, ó si acaso amarilla y aun también roja, en las estrellas binarias es casi siempre la compañera azul, verde ó roja, contrastando de este modo con la luz blanca de la estrella mayor ó central.

Por largo tiempo ha sido el origen de estos colores motivo de estudios é investigaciones. Se supuso que se debían á colores complementarios, y por lo tanto, éstos no eran inherentes á las estrellas, sino que dependían de una ilusión óptica semejante á la que produce el mirar una pared blanca inmediatamente después de contemplar el Sol, en cuyo caso aparece la pared cubierta de manchas violetas. Pero cubriendo sencillamente la estrella central, expediente que no tiene nada de complicado, se demuestra la inexactitud de esta suposición, puesto que el color de la estrella pequeña permanece indiferente, aunque se oculte su compañera.

Zöllner, á quien debemos trabajos muy importantes sobre la luz y la constitución física de los cuerpos celestes, fué el primero que indicó la idea de que, así como todas las substancias conocidas en su cambio del estado incandescente al de una temperatura inferior, pasan por el calor rojo, de igual manera las estrellas fijas, en su proceso de desarrollo del estado de gas luminoso y brillante al período de líquido incandescente, y desarrollo subsiguiente de escorias flotantes ó formación sucesiva de una superficie fría no luminosa, deben, al propio tiempo que disminuye su luz gradualmente, hallarse sujetas á un cambio de color.

En muchas estrellas coloreadas, especialmente en las llamadas *nuevas*, se ha visto que el color recorre la escala desde el blanco hasta el amarillo y el rojo, de modo que la conjetura presenta muchos grados de probabilidad; pero que otras circunstancias deben de ejercer cierto influjo también en el color de las estrellas, se demuestra por el cambio de tono que se ha observado que tiene lugar en la dirección opuesta, esto es, del rojo al blanco, de lo cual, entre otras estrellas, se puede citar á Sirio, considerada por Ptolomeo y los antiguos como roja y que ahora nos parece blanca, y también á Capella, que primitivamente era roja y ahora brilla con una luz pálida azulada. Huggins y Miller han descubierto por medio del espectroscopio que el color de una estrella, no sólo depende del grado de incandescencia del líquido caldeado ó núcleo sólido, sino también de la calidad del poder absorbente que pueda ejercer su atmósfera sobre la luz emitida por el núcleo luminoso.

Como el origen de la luz estelar, observa Huggins, es una materia sólida ó líquida incandescente (Kirchhoff), parece muy probable que al tiempo de su

emisión sea la luz de las estrellas igualmente blanca. Los colores con que aparecen á nuestra vista deben, por consiguiente, producirse por ciertos cambios que la luz sufre después de su emisión y durante su trayecto. Es por otra parte evidente que, si las líneas oscuras de absorción son más numerosas ó están más acentuadas en algunas partes del espectro con preferencia á otras, en este caso los colores particulares de estos puntos ofrecerán un tono más bajo y apagado, y siempre aparecerían relativamente más débiles que en las regiones del espectro en donde las líneas de absorción son mucho menos numerosas. Mientras que de este modo se extinguirán en el espectro ciertos colores particulares, los que persisten, como no sufren modificación alguna, aparecen más brillantes y dan sus propias tintas á la luz de la estrella, originalmente blanca.

El espectro de Sirio, estrella conocida universalmente como una de las más blancas y hermosas del cielo, se representa en la fig. 195; como debiera esperarse, los espectros de estas estrellas son notables por la carencia de grupos de bandas intensas de absorción. Las líneas oscuras que atraviesan el espectro coloreado, aunque muy numerosas y con una sola excepción, igualmente distribuidas en todos los colores, son en extremo finas y delicadas, y por lo tanto, demasiado débiles para afectar la blancura original de la luz. La única excepción consiste en cuatro líneas gruesas simples, una de ellas que corresponde á la C de Fraunhofer, otra á la F, mientras que la tercera cae muy cerca de G, lo cual, como ya hemos manifestado, indica con certidumbre la presencia del hidrógeno.

Si se compara este espectro con el de una estrella anaranjada, verbigracia, la mayor de las dos que componen el grupo *alfa* Herculis, aparece claramente la diferencia entre ambos espectros, pues el verde, azul y hasta los colores rojos en este espectro se encuentran debilitados por grupos de bandas oscuras muy intensas, mientras que los rayos anaranjados y amarillos conservan casi su intensidad original y predominan, por tanto, en la luz de esta estrella.

Después de vencer grandes dificultades, obtuvieron Huggins y Miller el mismo resultado de la observación de una estrella doble telescópica y muy débil; de la bien conocida estrella *beta* del Cisne. En un gran antejo contrastan de un modo muy notable y hermoso los colores de estas estrellas; el de la una anaranjado, y el de la otra azul, pero más débil. En la estrella anaranjada se observan las líneas oscuras más fuertes, y en grupos más apretados en el azul y el violeta; la región anaranjada del espectro, que comparativamente está libre de bandas, da el color predominante á la luz. En la delicada compañera azul, el grupo más fuerte de líneas se encuentra en el amarillo, naranja y parte del rojo; de modo que habría que esperar, como sucede, el predominio del azul en la luz de esta estrella, y debiéramos verla del tono producido por la mezcla de los colores que subsisten después de la absorción de los rayos mencionados de la luz blanca.

Los colores de las estrellas se producen, sin duda alguna, por los vapores de ciertas substancias que contienen en sus atmósferas respectivas; y como la constitución química de la atmósfera de una estrella depende de los mismos elementos de que la estrella se componga y de su temperatura, sería posible averiguar las principales materias constituyentes de estos pequeños mundos teles-

cópicos, si la posición de las líneas oscuras de absorción se determinara con toda escrupulosidad, ó si se pudieran comparar estas líneas con las espectrales de los elementos terrestres.

Entre las estrellas fijas se encuentran algunos ejemplares cuyo brillo varía de tiempo en tiempo en comparación con los astros inmediatos; su luz aumenta ó disminuye y alterna en algunos casos desde la de una estrella de primera magnitud hasta la invisibilidad completa; en unas tiene lugar este cambio de un modo constante, con lentitud y perfecta regularidad en la disminución de su brillo; otras aumentan y disminuyen casi de un modo repentino.

Estas estrellas, que ya conocemos, se llaman variables, y el tiempo transcurrido entre dos épocas sucesivas de mayor esplendor, período de variabilidad. El descubrimiento de estos objetos es de fecha muy reciente, y los antiguos astrónomos sólo nos dejaron alguna memoria incierta de varias estrellas que ya desaparecieron, de modo que no podemos encontrarlas en su puesto.

Este estudio lo han cultivado con gran afición muchos y muy distinguidos astrónomos de la época presente, como Argelander, Secchi, Hind, Heis, Schmidt, Schoenfeld, Arrest, Webb, Birmingham y otros muchos, con cuyos trabajos se ha reunido tal número de hechos, que con ellos se ha podido formar un cuerpo de ciencia precisa, que en unión con la espectroscopia nos revelará, sin duda alguna, el misterio que encierran estas maravillosas variaciones y apariciones.

La siguiente tabla indica las variaciones que presentan algunas estrellas variables del período regular:

Estrellas	Variación de brillo		Período de variabilidad
	de	á	
<i>Eta</i> Argus.	1. ^a magnitud	4. ^a magnitud	46 (?) años
R Cephei.	6. ^a »	11. ^a »	73 (?) »
R Cassiopee.	5. ^a »	menos 14 »	428,9 días
<i>Omicrón</i> Ceti.	1. ^a ó 2. ^a »	9. ^a 1/2 »	331,3363 »
S Cancri.	8. ^a »	10. ^a 1/2 »	9,485 »
<i>Beta</i> Persei.	2 1/2 »	4. ^a »	2,867 »

De todas las estrellas variables, *omicrón* Ceti ó *Mira* de la Ballena es quizás la más interesante, puesto que en su brillo máximo iguala á las estrellas de primera ó segunda magnitud; de interés nada inferior es *beta* Persei, que en dos días y 13 1/3 horas brilla con el esplendor de una estrella de segunda magnitud, y luego súbitamente decrece su luz, llegando en tres horas y media á ser como la de una estrella de cuarta magnitud; aumenta de nuevo su esplendor y en un período análogo de tres horas y media alcanza su brillo primitivo. Todos estos cambios se verifican regularmente en el espacio de tres días escasos, en cuyo tiempo la estrella permanece siempre visible á la simple vista.

¿De dónde proviene esta modificación de la luz de las estrellas? Zöllner, con gran perspicacia y apoyándose en numerosas observaciones de estos cambios de brillo, presenta una explicación bien sencilla, suponiendo que la causa reside en la configuración y distribución de las masas oscuras de escorias, que se

forman en el líquido caldeado al rojo del cuerpo estelar en proceso ó vía de enfriamiento, y que á consecuencia de la rotación de la estrella sobre su eje y de la fuerza centrífuga de esta suerte originada, tomarán determinados rumbos en la superficie de la estrella, de un modo análogo á lo que se observa en los mares terrestres con los grandes témpanos que descienden de las regiones boreales.

A consecuencia de este particular movimiento relativo, las masas oscuras de escoria se dispondrían por sí mismas en un orden determinado, produciendo en la superficie de la estrella una distribución desigual de la materia candente luminosa. Si esta distribución tuviera lugar del modo que imagina Zöllner y se representa en la fig. 196 y la masa líquida brillante se dirigiese como indican las flechas en la dirección de *a* y *b*, ó en contra de la rotación de la estrella, del propio modo que las corrientes polares de nuestra Tierra, y fuesen detenidas en su curso por el banco ó bajo de escorias, entonces el cambio de brillo de su luz y su aparición periódica á cada revolución sobre el eje pueden explicarse sin gran esfuerzo.

Otros creen, por el contrario, con Stewart y Klinkerfues, que las estrellas variables son sistemas binarios muy estrechos, y que una de las componentes, la que gira, ya sea cuerpo oscuro, ó incandescente y gaseoso, ó también una masa fluida candente, produciría al pasar por delante del astro central, ora un eclipse parcial, bien una absorción atmosférica de la luz, como con frecuencia ocurre en nuestro propio sistema planetario.

Es en extremo instructivo considerar cómo estas distintas teorías han sido modificadas por el análisis espectral. Si el cambio periódico en el brillo de la estrella se debe á una modificación de su constitución física ó á la interposición de un cuerpo oscuro y opaco, ó si el cuerpo interpuesto, oscuro ó luminoso se encuentra rodeado por una atmósfera absorbente, todo ello se demostraría por las alteraciones del espectro, que consistirían en un aumento de las líneas de absorción, que se observan principalmente en el período de menor brillo.

Secchi, Huggins, Miller, consagraron mucho tiempo á estudios de esta naturaleza, y los dos últimos observadores notaron que en el espectro de Betelgeuze (*alfa* Orionis), número 2 de la lámina de la página 323, en febrero de 1866, cuando la estrella se hallaba en su esplendor máximo, se perdió un grupo de bandas oscuras, cuyo lugar exacto se había determinado escrupulosamente dos años antes, y correspondía al número 1.069,5 de la escala, en cuyo punto caía una raya negra.

También notó Secchi algunas modificaciones en una línea negra del espectro de la misma estrella en un período de mínimo esplendor; pero estas observaciones son todavía muy escasas y aisladas, para que se pueda deducir de ellas ninguna conclusión en lo respectivo á las dos hipótesis anteriores.

Observó Secchi que el espectro del núcleo de una mancha solar presenta una estrecha semejanza con el que dan varias estrellas rojas, como *alfa* Orionis (Betelgeuze), *alfa* Scorpii (Antares), *alfa* Tauri (Aldebarán), *omicrón* Ceti (Mira). Una serie de bandas oscuras de las que se ven en el espectro de Betelgeuze se pueden observar en el número 2 de la citada lámina, las que también se encuentran en el espectro de las manchas solares, de igual modo que en el de las estrellas indicadas, lo que nos induce á creer que el color rojo de

estas estrellas proviene de la misma causa que produce las bandas de absorción en el espectro de las manchas solares.

Como casi todas estas estrellas son variables, es muy probable que también tengan manchas que se manifiesten en períodos regulares, del mismo modo que las manchas del Sol. El período de variabilidad de la ley dependería, pues, del período de formación de las manchas, de igual manera que aparece nuestro Sol como una estrella variable, en la que el período de variación de la luz coincide con el de frecuencia de las manchas.

Estos hechos nos sugieren varias reflexiones acerca de nuestro luminar. El Sol es, pues, una estrella variable; las variaciones undecenales de sus manchas y de las protuberancias ó erupciones prueban que su actividad no es constante y que por ello debe variar asimismo en la intensidad de su luz. Pero la evaluación directa de esta variabilidad y de su límite no es posible establecerla. La luz no se puede medir con precisión y la magnitud de las manchas no prueba que aquélla sea menor cuando son muy numerosas, porque aunque se demostrase que en las manchas hay menos luz y una temperatura más baja, la mayor intensidad de las partes luminosas puede compensar la que falta en las regiones oscuras, lo cual es muy probable atendiendo á su mayor actividad, por completo demostrada en las épocas de manchas.

Entre las estrellas variables pudiéramos colocar también las que de vez en cuando, pero á intervalos muy largos, aparecen repentinamente en el cielo y desaparecen otra vez después de un período mayor ó menor, y que siempre excitan el más vivo interés, no sólo por lo raro de su aparición, sino por las tremendas revoluciones del espacio que anuncia su presencia.

¿Debemos creer que estas estrellas *nuevas* son, en efecto, creaciones repentinas, como suponía Tycho-Brahe, y que las que han desaparecido se han aniquilado y destruído en realidad? ¿Podemos suponer con Riccioli que estos cuerpos celestes son luminosos por uno de sus lados nada más, y que por una semirrevolución súbita que en un momento dado les imprime el Creador, vuelven á nosotros su mitad brillante?

Las observaciones recientes han quitado todo su valor á la primera suposición, pues se ha probado, con auxilio de las cartas celestes, que existía con anterioridad una pequeña estrella en el mismo lugar precisamente en que apareció y se inflamó la estrella efímera; la otra opinión es demasiado absurda para que se pueda refutar seriamente.

Si, por lo tanto, la inflamación repentina de una estrella en el cielo no indica la creación de un astro nuevo, ni su desaparición gradual su aniquilación completa, podemos suponer con algunos visos de probabilidad que ambos fenómenos son los efectos sucesivos de una violenta conflagración que tiene lugar en la estrella, ora en forma de erupción de la materia líquida y candente del

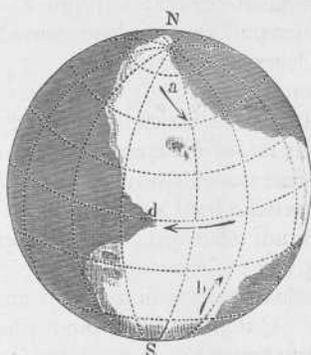


Fig. 196. - Teoría de la modificación de la luz de las estrellas, según Zöllner.

interior y su derrame ó inundación por la superficie, ó bien de la ignición de las gigantescas corrientes de gas que desde el interior buscan su salida.

Así como semejante suceso debe elevar la estrella á un estado de incandescencia extrema, obligándola á emitir una luz intensísima por algún tiempo, de igual manera el enfriamiento subsiguiente á esta combustión debe producirse con más ó menos rapidez, disminuyendo su brillo en consecuencia con rápida progresión, hasta que en determinadas condiciones deje la estrella de ser visible.

Afortunadamente para la ciencia, han tenido lugar en estos últimos años varias apariciones de estrellas nuevas, en épocas en que el análisis espectral estaba ya al servicio de los astrónomos. En la noche del 12 de mayo de 1866, una estrella nueva, de brillo superior á las de segunda magnitud, fué observada en Tuam por Birmingham, en la constelación de la Corona Boreal; á la noche siguiente la columbró en Rochefort el ingeniero francés Courbebaissé, y también pudo percibirla unas cuantas horas antes el doctor Julio Schmidt, director del Observatorio de Atenas, quien afirma que la nueva estrella no podía ser visible antes de las once de la noche del 12 de mayo, pues él mismo estuvo observando con su buscador de cometas la estrella R de la Corona, y al investigar en sus inmediaciones por algún tiempo, no hubiera dejado de columbrarla si hubiese sido visible. En la misma noche (13 de mayo) decreció sensiblemente la luz del nuevo luminar, y el 16 de mayo era comparable á una estrella de 4.^a magnitud; desde esta fecha comenzó á desvanecerse rápidamente desde 4,9 el 17 á 5,3 el 18, y de 5,7 el 19 á 6,2 el 20, hasta el extremo de que á fines del mes sólo aparecía como de 9.^a magnitud.

Que la estrella no era nueva lo indicó Schmidt, pues la halló en el *Durchmusterung des nördlichen Himmels* de Argelander con el núm. 2.765 en $+ 25^{\circ}$ de declinación. Argelander observó esta estrella el 18 de mayo de 1855 y el 31 de marzo de 1856, y en ambos casos la clasificó entre la 9.^a y la 10.^a magnitud.

Informado Huggins del descubrimiento el 14 de mayo, al día siguiente, 15, en unión con Miller, comenzó á estudiar el espectro de la estrella, en época en que su brillo no era inferior en mucho á la 3.^a magnitud. El espectro de esta estrella era muy notable y mostraba claramente que existían dos focos distintos de luz, cada uno de los cuales producía un espectro aparte; la cinta espectral estaba formada, en efecto, por dos espectros superpuestos é independientes; uno de ellos continuo y cruzado por líneas negras, semejantes á las que exhiben el Sol y otras estrellas, al paso que el segundo constaba de *cuatro líneas brillantes*, que por su extremado brillo se destacaban de un modo marcadísimo sobre el fondo obscuro del primer espectro.

El espectro principal atravesado por líneas oscuras indicaba la presencia de una fotosfera de materia incandescente, probablemente sólida ó líquida, rodeada de una atmósfera de vapores más fríos, que por absorción producen las rayas negras. Este espectro de absorción contenía unas bandas oscuras muy fuertes, de menor refrangibilidad que la línea D del espectro solar; un grupo de líneas finas se hallaba muy inmediato á D. Hasta este punto la constitución de este objeto era análoga á la del Sol y las estrellas; pero la estrella nueva presentaba también un espectro formado por líneas brillantes que denotaban la pre

sencia de una segunda fuente de luz, que por la naturaleza del espectro era indudablemente un gas en extremo luminoso.

Huggins comparó el espectro de la estrella el 17 de mayo con el espectro del gas hidrógeno producido por medio de la chispa de inducción á través de un tubo de Geissler, y halló que dos de las líneas estelares más fuertes coincidían con la azul verdosa (*H beta*) del gas hidrógeno. Aparentemente también, la línea γ en el rojo coincidía con la *H alfa* del mismo gas; pero debido á la falta de brillo de la línea, no pudo averiguarse la coincidencia con igual grado de certidumbre. El extremado brillo de estas líneas, comparado con las partes del es-

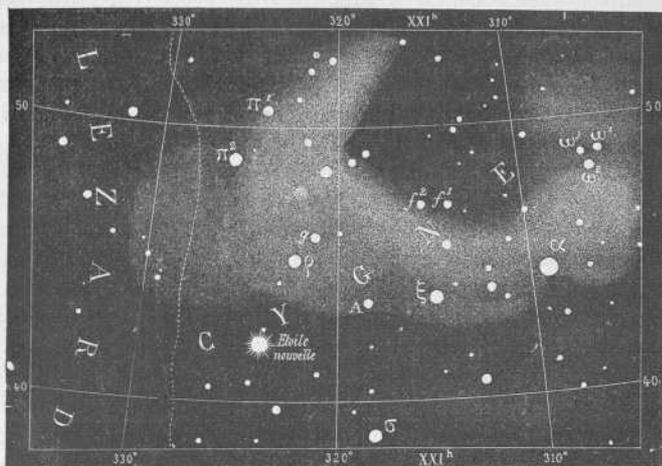


Fig. 197. — Posición de la estrella efímera del Cisne, según las observaciones de Schmidt
Magnitud de la estrella el 24 de noviembre de 1876

pectro continuo en donde aparecían, probaba que el gas luminoso tenía una temperatura superior á la de la fotosfera de la estrella.

La estrella efímera de 1876 apareció en la constelación del Cisne, y en ningún catálogo se registraba astro alguno en tal situación; era, pues, una estrella nueva. Pronto, sin embargo, comenzó á apagarse, y el 5 de diciembre era de 5.^a magnitud.

El 2 de diciembre la analizó M. Cornu con el espectroscopio, y pudo observar en brevísimo tiempo, pues las condiciones atmosféricas eran muy desfavorables, que el espectro estaba formado en gran parte por líneas brillantes, y por consecuencia, provenía de un vapor ó gas incandescente. Algunos días después, y mejorado el tiempo, continuó sus estudios; el espectro de la estrella se componía de cierto número de líneas brillantes que se destacaban sobre una especie de fondo luminoso, interrumpido casi completamente, entre el verde y el añil; de modo que, á primera vista, parecía el espectro compuesto de dos partes separadas. Señaló, ocho líneas brillantes que correspondían al hidrógeno, sodio, *helio* de la cromoesfera, magnesio y á la de la corona.

En resumen, la luz de la estrella poseía, al parecer, exactamente la misma

composición que la envoltura del Sol llamada cromoesfera; tales son las palabras de Cornu.

Vemos, pues, que los espectros de estas dos estrellas contemporáneas son semejantes, y que presentan líneas luminosas, lo que indica que en ellas tienen lugar varios incendios. Enlazando estos hechos con lo repentino de las apariciones luminosas de las estrellas y su rápido descenso desde la primera ó segunda magnitud, hasta la octava ó novena, han pretendido varios astrónomos establecer la hipótesis de que á consecuencia de alguna convulsión interna se desprenden cantidades enormes de hidrógeno y varios gases que, en combinación con otros elementos inflamados en la superficie de la estrella, envuelven todo el cuerpo súbitamente en un océano de llamas. El gas hidrógeno inflamado, en su combinación con algún otro elemento, producía la luz caracterizada por las dos bandas brillantes, del rojo y el verde; las demás líneas brillantes, entre las cuales habría que suponer alguna del oxígeno, no se vió que presentarían la menor coincidencia con las rayas de este gas; el hidrógeno incandescente debiera de haber aumentado también, y en proporción considerable, la temperatura de la materia sólida de la fotosfera, adquiriendo ésta mayor incandescencia y luminosidad, lo cual puede explicar cómo la primera estrella débil hubiera adquirido tan repentinamente brillo tan extraordinario. Al agotarse el gas hidrógeno puesto en libertad, se apagaría la llama de un modo gradual, y con el enfriamiento subsiguiente de la fotosfera se haría menos luminosa, volviendo la estrella á su primitiva condición.

En contra de esta hipótesis, se ha dicho que un desarrollo súbito de hidrógeno, en cantidad suficiente para dar lugar al fenómeno de la inflamación de la estrella, es un suceso poco probable; á lo cual puede agregarse que el espectro de estas estrellas no era de hidrógeno *incandescente*, sino *luminoso*. Meyer y Klein dicen, por lo tanto, que el esplendor repentino de una estrella pudiera deberse á la precipitación violenta de alguna gran masa, como un planeta, sobre una estrella fija, con lo cual la fuerza viva se convertiría en movimiento molecular, ó en otras palabras, en calor y luz.

No debemos de olvidar que la luz, aunque mensajero rapidísimo, necesita, sin embargo, algún tiempo para franquear la distancia que nos separa de la estrella; la velocidad de la luz es de 75.000 leguas por segundo y la distancia de la más próxima de las estrellas fijas (*alfa Centauri*) es de más de seis millones de millones de leguas, de modo que su luz tarda en recorrerlas unos cuatro años y medio. La gran convulsión física que se observó en la estrella de la Corona en 1866, fué por tanto un suceso que en realidad tuvo lugar antes de esa fecha, en una época, á no dudar, en que el análisis espectral, al que debemos las noticias que tenemos sobre el problema, era por completo desconocido.

El P. Secchi descubrió, al examinar con el espectroscopio la estrella variable R Geminorum, que su espectro indicaba líneas brillantes del hidrógeno, que aparecían del mismo modo en el espectro de la estrella efímera T Coronæ borealis. La estrella daba además otras bandas brillantes, de las que la más notable coincidía con las bandas oscuras de *alfa Orionis*; un grupo caía en el verde (b) y se debía probablemente al magnesio, otro en el amarillo y correspondía al parecer, ó á la línea del sodio, ó á D₃ de las protuberancias solares. Las observaciones

se efectuaron cuando la estrella había alcanzado su brillo máximo, en poco superior á la séptima magnitud; el gran interés que entraña este fenómeno, especialmente en cuanto á la aparición de las mismas líneas brillantes que caracterizan las protuberancias solares, hace que estas observaciones se prosigan durante todo el período de variabilidad, en cuanto lo permite la potencia luminosa del astro.

En las páginas anteriores explicamos el principio que, aplicado al análisis espectral, nos permite en determinadas circunstancias averiguar, por la dislocación de las líneas del espectro de una estrella, si se acerca á nosotros, ó si se aleja, y también la velocidad de su movimiento; demostramos que la dislocación de una de las líneas del espectro hacia el violeta indicaba que la longitud de la onda se acortaba en su trayecto hacia la Tierra, y por lo tanto, que la estrella se acercaba á nosotros; la dislocación hacia el rojo indica, por el contrario, que las ondas etéreas se han alargado y que la estrella, por consiguiente, se aparta de nuestro globo.

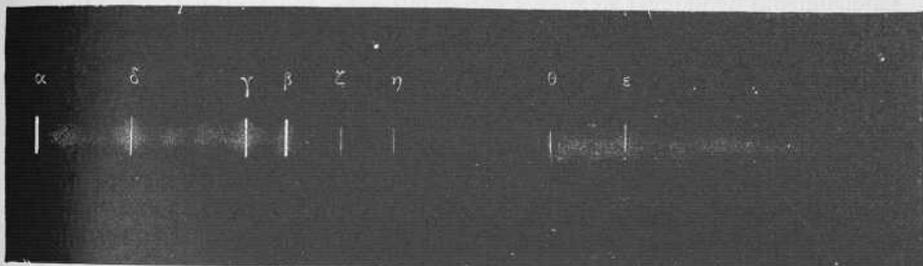


Fig. 198. - Espectro de la estrella efímera del Cisne, según las observaciones y medidas de Cornu

El P. Secchi, que fué el primero en ocuparse de este género⁷ de investigaciones, dirigió su anteojo á Sirio, colocando de tal manera el prisma del espectroscopio, que la línea F coincidiese exactamente con la imagen directa de la estrella; volvió luego el instrumento á otra estrella fija del mismo tipo, en el que también era visible la línea F, y observó su espectro muy escrupulosamente, para averiguar si esta raya coincidía asimismo, ó mostraba alguna dislocación; su instrumento, empero, no era adecuado para estos estudios tan prolijos, y los resultados obtenidos no fueron decisivos.

Con auxilio de instrumentos más delicados y un aparato mejor y más propio para estas medidas, comenzó y realizó Huggins una investigación muy completa sobre este asunto. Por medio de una serie de observaciones preliminares estableció primero qué línea oscura muy marcada, que aparecía en el espectro de Sirio, correspondía con la del hidrógeno H *beta*; con tal objeto comparó la línea oscura de esa estrella, del modo corriente y usual, con la línea H *beta* del espectro del hidrógeno, formado por un tubo de Geissler, que coincide con la línea F de Fraunhofer del espectro solar, y también con la línea H *beta* del mismo hidrógeno á la presión atmosférica.

De la posición de estas tres líneas en relación con la de Sirio y con ellas mismas resulta lo siguiente. Al paso que las líneas de comparación coinciden exacta-

mente, *la raya de Sirio está ligeramente dislocada hacia el rojo*; como esta línea de Sirio aparece más ancha que la brillante del hidrógeno H *beta*, lo cual ocurre siempre con esta línea cuando el gas se halla sometido á cierta presión, es de suma importancia determinar si la expansión de la línea H *beta* del hidrógeno, sujeta á determinada presión, aparece en ambos lados igualmente, ó de un modo desimétrico.

En el primer caso, es obvio que la posición de la línea de Sirio no puede considerarse como una dislocación producida por el movimiento, sino meramente como una expansión que se presenta en uno solo de los lados; en el segundo caso, la línea brillante H *beta* debe caer exactamente en la mitad de la ancha línea de Sirio, si sólo es producida por expansión, sin que se haya verificado dislocación alguna al mismo tiempo. Halló Huggins, empero, en conformidad con las investigaciones de Lockyer y Frankland, que cuando la línea H *beta* del hidrógeno se ensancha á causa del aumento en la densidad del gas, este ensanchamiento tiene lugar siempre á entrambos lados con igualdad, y en el centro de la línea conserva su posición. Es probable que la expansión de la línea de Sirio tenga un origen semejante, pero al propio tiempo no puede haber duda de que *toda la línea sufre una dislocación hacia el rojo en comparación con la línea del hidrógeno terrestre*.

Esta dislocación fué escrupulosamente medida por Huggins, quien halló que la línea F del espectro de Sirio importaba en la fecha de la observación, próximamente, la cuarta parte de la distancia que hay entre D₁ y D₂. La diferencia entre las longitudes de onda de estas dos líneas D es, según algunos, de 6 millonésimas de milímetro; la dislocación de la línea F en el espectro de Sirio corresponde, por lo tanto, á un aumento en la longitud de onda de 0,109 ó 0,15 millonésimas de milímetro. Si se acepta que la velocidad de la luz sea de 75.000 leguas por segundo, y la longitud de onda de la luz de la línea F de 486,50 millonésimas de milímetro, en este caso la dislocación observada en la línea de Sirio indica que esta estrella se aleja de la Tierra con una velocidad de

$$\frac{75\ 000 \times 0,109}{486,50}$$

que son unas 17 leguas por segundo.

La Tierra juega algún papel, sin duda alguna, en la rapidez de este movimiento; en su circuito anuo en torno del Sol cambia el sentido del movimiento de nuestro globo á cada instante, y hay dos posiciones en la órbita separadas entre sí 180°, en las que la dirección del movimiento coincide con la visual de Sirio. En uno de estos lugares se acerca la Tierra á la estrella y en el otro se separa, mientras que en otros dos puntos de la órbita distantes 90° de los primeros, el movimiento de la Tierra se efectúa en ángulo recto con la visual de la estrella, y por consecuencia, no ejerce el menor influjo sobre la refrangibilidad de los rayos.

En la fecha en que Huggins llevó á cabo estas investigaciones respecto de la línea de Sirio, se movía la Tierra en su órbita, en sentido opuesto á la estrella, con una velocidad de 5 leguas por segundo: quedaban, pues, para el movimien

o propio de Sirio, en sentido contrario al de nuestro globo, unas 11,8 leguas.

Prosiguió Huggins sus investigaciones respecto de otras estrellas, y pudo convencerse de que para análisis tan delicados eran insuficientes los medios de que disponía; en consecuencia, la Sociedad Real de Londres puso á su disposición un refractor paraláctico de 37 centímetros de diámetro, provisto de todos los accesorios más delicados y precisos que se emplean en este género de observaciones.

Según sus nuevos estudios, Sirio se aleja de la Tierra con una velocidad de 7 leguas por segundo, nada más; Betelgeuze se acerca á nosotros 5 leguas por segundo de tiempo, Rigel 4, Régulo 7, Castor 4; las estrellas *beta*, *gamma*, *delta*, *epsilon*, *zeta*, etc., de la Osa mayor, se acercan también; Arcturo 14 leguas por segundo, Wega 12, *alfa* del Cisne 10, *alfa* de la Osa mayor 15; *gamma* del León, *epsilon* de Bootes, *alfa* de Pegaso, *alfa* de Andrómeda y otras muchas se aproximan asimismo á la Tierra.

Mas apenas se publicaron estos resultados de Huggins, se observó que eran contrarios á los últimos del P. Secchi, lo que creaba cierta dificultad; Vogel se ocupó también de este asunto y halló en algunas estrellas resultados conformes con los del sabio jesuíta, y en otros casos desemejantes.

Recordando que al emplear el número necesario de prismas para producir un espectro estelar de largo suficiente, se debilita tanto la luz que la comparación exacta de las líneas oscuras de la estrella con las brillantes de los elementos terrestres es de una dificultad extremada; y si además se tiene presente que muchas bandas oscuras del espectro estelar están mal definidas en sus cantos y que la raya F del espectro de Sirio es algo débil y de anchura variable, no debemos de tener una confianza absoluta en los resultados de estas observaciones.

En el Observatorio de Greenwich, modelo de esta clase de establecimientos, se repitieron algunas de las mediciones de Huggins á que antes hicimos referencia, y se obtuvo para Wega una velocidad de 5 leguas escasas, y para varias estrellas movimientos negativos, esto es, de recesión; el del Aguila era muy incierto y el de *alfa* de Pegaso de 5 leguas. Las estrellas, *beta*, *gamma*, *delta*, *epsilon* y *zeta* de la Osa mayor se alejan con una velocidad de 8 leguas por segundo, mientras que *alfa* y *eta* se aproximan. Siendo estos resultados contrarios á los que con frecuencia se obtuvieron en el mismo Observatorio y para las mismas estrellas, como manifiestan los cuadros publicados por el Director, y la enorme aberración entre unas y otras observaciones, creyó el P. Secchi que en este punto pudiera existir algún error sistemático.

Emprendió con este motivo una investigación concienzuda sobre las causas de error que pudieran ocurrir en este género de observaciones; el P. Secchi, aun antes de terminar por completo sus trabajos sobre este punto difícil, creyó poder asegurar que muchas de estas desviaciones consistían en verdaderos defectos del instrumento. Después de los estudios del ilustre jesuíta, repitió Christie las observaciones en Greenwich, y en un todo se halló conforme con Huggins. Langley también confirmó algunos de estos resultados respecto de la rotación del Sol; pero, á pesar de todo, aún hay motivo para dudar tratándose de cantidades tan sumamente pequeñas.

Para demostrar que con esto no exageramos las dificultades, diremos que el

espectroscopio indicaba que el famoso cometa de Coggia, de 1874, se acercaba á la Tierra con una velocidad de 18 leguas por segundo, y que en realidad resultó ser sólo de 9.

Vamos ahora á ocuparnos del análisis espectral de los cuerpos más lejanos que se conocen, de las regiones de los conglomerados de estrellas y de las nébulas que sólo se perciben con el auxilio de los telescopios más poderosos. Cuando se observa la celeste bóveda con un antejo de mediano poder óptico, se perciben muchas nebulosas y cúmulos estelares que se destacan sobre el fondo obscuro del cielo, que á primera vista se tomarían por nubes pasajeras, pero que por la permanencia de sus formas se demuestra que son cuerpos celestes, aunque de carácter muy distinto del de los puntos luminosos llamados estrellas. Herschel pudo con su gigantesco telescopio de 14 metros resolver muchas de estas nebulosas en cúmulos de estrellas que sólo eran grupos de soles individuales, en los que se podían separar y contar claramente millares de estrellas fijas, pero que distan tanto de nosotros que no nos es posible percibir el espacio que media entre ellas, por más que sea en realidad de varios millones de leguas, y su luz, con una mediana amplificación, parece que proviene de una masa débilmente luminosa.

Pero todas las nébulas, y el lector ya lo sabe, no se resuelven con el telescopio, y á medida que las nebulosas anteriores se convertían en estrellas, aparecían otras nuevas que resistían á un poder de 6.000, sugiriendo á su profundo investigador la teoría de que además de los millares de nébulas aparentes que se revelan á nuestra vista como sistemas de mundos separados y completos, hay todavía miles de nébulas reales en el universo, compuestas de la primitiva materia cósmica, de la que habrían de formarse los mundos futuros.

Lord Rosse, por medio de su telescopio de 17 metros de distancia focal, construído con sus propias manos, pudo resolver en estrellas muchas de las nébulas que resistieron á la potencia del instrumento de Herschel; pero en este caso también aparecieron nuevas nebulosas superiores al poder del inmenso telescopio.

Los telescopios, pues, no bastan para zanjar la cuestión y averiguar si las nébulas irresolubles son ó no porciones de la primitiva materia de que se formaron las estrellas existentes; en este punto nos dejan en la mayor incertidumbre, y por su medio no podemos saber si estas nébulas son masas de gas luminoso, que en el curso de los tiempos pasan por los varios estados de líquidos incandescentes (el Sol y las estrellas fijas), de escorias, ó formación gradual de superficies frías y no luminosas (la Tierra y los planetas), y finalmente de congelación completa (la Luna), ó si existen como sistemas de mundos distintos y perfectos; los telescopios sirvieron para plantear el problema sin simplificarlo ni resolver sus dificultades.

El misterio que no alcanzaba á revelarnos la potencia de los telescopios más poderosos lo ha descubierto el instrumento, insignificante en la apariencia, pero en realidad muy delicado y de sensibilidad casi infinita, que llamamos espectroscopio; á este modesto aparato debemos el saber con certidumbre que en la época presente existen nébulas luminosas como cuerpos aislados en el espacio, y que estos cuerpos son masas de gas luminoso.

Debemos recordar aquí otra vez que el carácter del espectro, no sólo indica cuál es la substancia que emite la luz, sino también su estado físico. Si el espectro es continuo y se compone de rayos de todos los colores ó grados de refrangibilidad, en tal caso el foco luminoso es un cuerpo *sólido ó líquido* en incandescencia; si, por el contrario, se compone el espectro tan sólo de *líneas brillantes*, entonces es seguro que la luz proviene de un *gas luminoso*; finalmente, si el espectro es continuo, pero se halla cruzado por líneas oscuras que interrumpen los colores, esto es indicio de que el foco luminoso es un cuerpo sólido ó líquido incandescente, pero que su luz ha pasado á través de una atmósfera de vapores de temperatura más baja, que por su poder electivo de absorción extrae los rayos coloreados que hubiera emitido el cuerpo si fuese luminoso por sí mismo.

Cuando Huggins dirigió por primera vez su tele-espectroscopio en agosto del

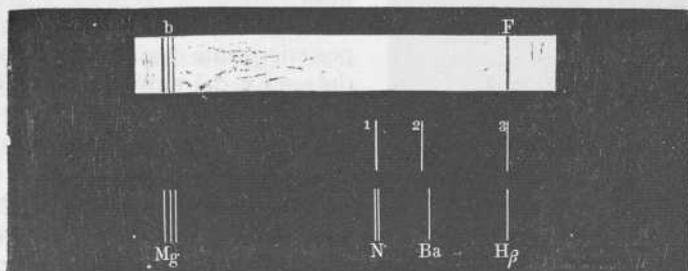


Fig. 199. - Espectro de una nébula, comparado con el del Sol y varios de los elementos terrestres

año 1864 á uno de estos objetos, que era la pequeña y brillante nébula 4.374 del Catálogo de Herschel, halló, con gran sorpresa, que el espectro, en vez de ser una banda continua coloreada como la de una estrella, consistía exclusivamente en *tres líneas brillantes*.

Esta sola observación bastó para zanjar la cuestión por tanto tiempo debatida, á lo menos respecto de esta nébula particular, y para probar que no es cúmulo de estrellas distintas y separadas, sino un cuerpo gaseoso dotado de luz propia; en suma, ese espectro sólo podría producirlo una substancia en estado de gas. La luz de esta nebulosa, por consiguiente, es emitida, no por cuerpos sólidos ó líquidos incandescentes, ni tampoco por gases en estado de extremada densidad, como sucede con el Sol y las estrellas, sino por un gas luminoso en estado sumo de rarificación.

Con objeto de descubrir la naturaleza química de este gas, siguió Huggins el método usual de comparación, y ensayó el espectro con las líneas de Fraunhofer y con las rayas brillantes de los elementos terrestres. La inspección de la figura 199 muestra de una ojeada el resultado de estas investigaciones. La línea más brillante (1) de la nébula coincide exactamente con la más nebulosa (N) del espectro del nitrógeno, que es doble. La línea más débil luminosa (3) también coincide con la azul-verdosa del hidrógeno H beta, ó lo que es lo mismo, con

la F de Fraunhofer en el espectro solar. La línea media (2) de la nebulosa no coincidía con ninguna de las rayas brillantes de los treinta elementos terrestres con que se comparó; está muy cerca de la raya del bario B *alfa*, pero no llega á coincidir con ella.

Durante mucho tiempo se ocupó Huggins en averiguar por qué las líneas brillantes características de estos gases no son visibles en el espectro de la nebulosa; después de Huggins se ocuparon del mismo asunto Secchi, Lockyer y Frankland. Todos estos observadores notaron, excepción hecha del P. Secchi, que cuando se ilumina con la chispa eléctrica un tubo de Geissler lleno de hidrógeno ó de nitrógeno y se coloca á cierta distancia de la ranura del espectroscopio, no sólo aparece única la doble línea del último cuerpo, sino que las líneas luminosas restantes de ambos gases desaparecen por completo, menos las rayas que son visibles en el espectro de la nébula.

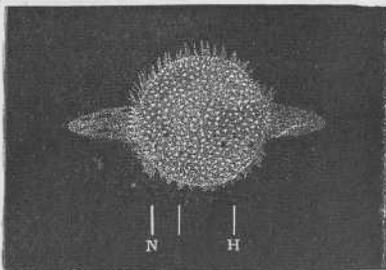


Fig. 200. - Nebula anular planetaria de Acuario con su espectro

Frankland y Lockyer demostraron posteriormente que los espectros del hidrógeno y del nitrógeno á una temperatura baja y á una presión escasa consisten únicamente en una sola línea en el verde, de lo que se deduce que *la temperatura de la nebulosa es inferior á la de nuestro Sol y que su densidad es muchísimo menor.*

El P. Secchi, en un opúsculo titulado *Sulla grande nebulosa di theta Orionis*, publicó un primoroso dibujo de este objeto magnífico; halló, por comparación de la línea brillante del nitrógeno de la nébula con el espectro del nitrógeno terrestre, que correspondía á un espacio oscuro del espectro nitrogenico de primer orden y que á la vez coincidía con una línea brillante del espectro de segundo orden. Como este espectro de segundo orden se produce por una chispa eléctrica de alta tensión, deducía Secchi que la masa nebulosa debía hallarse en igual condición que el nitrógeno terrestre en una corriente eléctrica de alta tensión. Wüllner describe este estado y lo supone de temperatura muy elevada; Frankland y Lockyer afirman, por el contrario, que el espectro de segundo orden, compuesto de pocas líneas brillantes, pertenece á una temperatura más baja que el espectro continuo de primer orden.

En estos últimos años volvió á ocuparse de este asunto Zöllner, quien por sus investigaciones sobre la analogía entre la luz emitida por las nebulas y la aurora boreal y la que se obtiene de los tubos de Geissler, llega á la conclusión de que la temperatura de los gases inflamados en la nebulosa debe ser baja, por lo general, mientras que en los tubos de Geissler, por el contrario, es alta.

Muchos estudios habrá que hacer, sin duda alguna, antes de hallar el verdadero enlace y conexión que existe entre la tensión de la corriente eléctrica y la temperatura y densidad del gas que por su medio se hace luminoso, y antes de que se pueda probar la exactitud de la suposición de Huggins sobre la absorción peculiar del espacio, que haría que las otras líneas que se ven en el hidró-

geno y nitrógeno terrestre se extinguiesen en la transmisión de la luz nebular á la Tierra.

Los primeros experimentos de Huggins demostraron respecto de los gases mencionados que cuando se disminuía la intensidad de su luz por cualquier medio, ya apartando la chispa de la ranura, ó bien por la interposición de pantallas de cristal de color neutro, la línea de cada uno de los gases que coincidía con una de las líneas de la nébula era la última en desaparecer. Hasta ahora no sabemos qué es lo que pasa en la nebulosa, y si sólo una línea de los gases que la componen se debe á la disminución de su luz por la transparencia imperfecta del espacio interestelar que tiene que recorrer, ó si hay que atribuir el fenómeno á su débil luminosidad original.

Por comparaciones directas con la luz de una bujía, halló Huggins que el brillo intrínseco de la nébula núm. 4.628 es igual á $\frac{1}{1508}$; el de la nebulosa anular de la Lira corresponde á $\frac{1}{6032}$, y el de la nébula de la Raposa á $\frac{1}{18874}$ de la intensidad de una bujía de esperma que quemase 160 gramos por hora. Sobre estos resultados habría de influir la absorción interestelar, dado caso que exista.

Todas las nébulas planetarias presentan el mismo espectro; las líneas brillantes aparecen con intensidad considerable en el espectroscopio y tienen bastante brillo para que se les pueda comparar con las líneas luminosas del espectro de una bujía, aunque la nébula sólo se perciba en el cielo como una estrella de novena magnitud; pero aun viéndose las rayas de estos objetos con toda distinción en circunstancias favorables, las líneas terrestres que han de servir para la comparación no deben ser demasiado brillantes, y cuando se emplea la chispa de inducción, hay que disminuir la intensidad de la luz interponiendo un cristal de color neutro.

El que se vean con tanta distinción las líneas de las nebulosas consiste en que su luz se halla concentrada en un corto número de rayas, mientras que la de la bujía se extiende en un espectro continuo; el principio es idéntico al que nos permite analizar el espectro de las protuberancias solares en pleno día.

Durante los años de 1865 y 1866 examinó Huggins más de sesenta nebulosas con el espectroscopio, principalmente con idea de averiguar si las que eran claramente resolubles con el telescopio en cúmulos de puntos brillantes daban un espectro continuo ó compuesto de líneas luminosas. La extremada debilidad de estos objetos, y la circunstancia de que las investigaciones de esta clase pueden llevarse á cabo únicamente cuando no hay Luna y la atmósfera está por completo despejada, hace que la observación espectroscópica de estos cuerpos celestes sea difícilísima y los resultados inciertos. Solamente repitiendo mucho las observaciones y las medidas por distintos astrónomos y en localidades

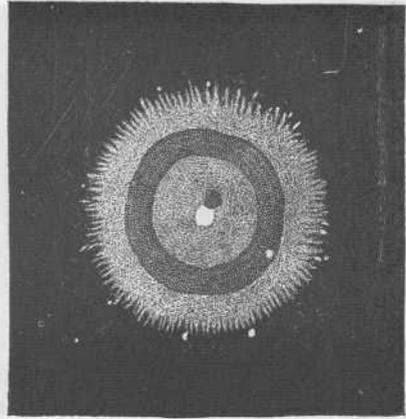


Fig. 201. - Nébula estelar (H 450)

diversas, se podrán anular las influencias perturbadoras y obtener resultados dignos de toda confianza.

Huggins divide las nebulosas en dos grupos:

1.° Nebulas que dan un espectro compuesto de una ó más líneas brillantes.

2.° Nebulas que dan un espectro continuo en la apariencia.

Próximamente la tercera parte de las sesenta nebulosas observadas pertenecen al primer grupo; su espectro consiste en una, dos ó tres líneas brillantes; algunas muestran al propio tiempo un espectro continuo muy estrecho y débil.

La fig. 200 se refiere á la nebulosa planetaria anular de la constelación de Acuario, según un dibujo de lord Rosse; la nébula, cuyo anillo se nos presenta por su canto, ofrece un espectro de tres líneas brillantes, de las cuales una se debe al nitrógeno y otra al hidrógeno.

La fig. 201 representa otra nébula, en escala mayor, también según un dibujo de lord Rosse; su estructura es esencialmente la misma que la de la anterior: una masa gaseosa brillante, rodeada por un anillo brillante también, cuya superficie completa se dirige hacia nosotros, de modo que la forma de este cuerpo celeste es muy distinta de la que nos muestra el anterior; su espectro consta también de tres líneas brillantes.

La nebulosa (H 4964) representada en la fig. 202 demuestra, á primera vista, que es de carácter espiral; es muy notable á causa de su espectro, que con-

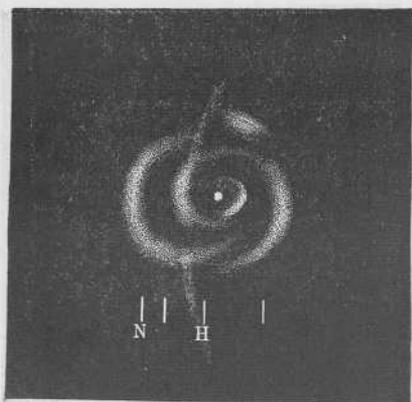


Fig. 202. - Nebulosa espiral (H 4964)
con su espectro

tiene cuatro líneas brillantes, dos de las cuales indican hidrógeno y una nitrógeno.

El espectro de la nébula anular de la Lira (H 4447) consta, por el contrario, de una sola línea brillante, que corresponde al nitrógeno. Cuando se dirige el espectroscopio á la nébula de tal modo que la ranura la corte, aparece la línea brillante compuesta de dos rayas luminosas también, que corresponden á los segmentos superior é inferior del anillo. Estas dos líneas están unidas por una pequeña banda que muestra que la débil porción interior de la nébula es de la misma substancia que la del anillo que la rodea.

La gran nébula de Orión ha sido objeto de grandes investigaciones espectroscópicas; su espectro se compone de tres líneas brillantes muy notables, una de las cuales indica asimismo la presencia del nitrógeno y otra la del hidrógeno.

Todos los cúmulos estelares que se dividen con el telescopio en puntos individuales brillantes, dan un espectro continuo sin líneas luminosas, ni sombras oscuras. Hay, sin embargo, algunos ejemplos de nebulas resolubles, verbigracia, la de Hércules, que presentan espectros distintos y particulares que constan

de bandas y líneas oscuras. El espectro de esta nébula se termina bruscamente en el naranja, en el lugar que ocupa la raya D, y aparece de brillo desigual; pero no se tiene certidumbre absoluta de que conste de líneas oscuras ó brillantes, por más que sea esto último muy probable. Sería, pues, muy importante el investigar hasta qué punto y manera concuerda la clasificación de las nébulas según el espectroscopio, con la que se obtiene del análisis telescópico.

En la siguiente tabla se encuentran los elementos que ha reunido lord Oxmantown acerca de este punto interesante, habiendo el mismo observador, con el gran telescopio de su padre, revisado todas las observaciones efectuadas de las nébulas y cúmulos que fueron examinadas por Huggins.

	Espectro continuo	Espectros de líneas
Cúmulos.	10	0
Resueltos ó aparentemente resueltos.	10	0
Resolubles ó aparentemente resolubles.	5	6
Azules ó verdes sin resolución.	0	4
Sin resolución aparente.	6	5
	31	15
No observados en el telescopio de lord Rosse.	10	4
Total.	41	19

La mitad de las nébulas que dan un espectro continuo se han resuelto en estrellas, y próximamente una tercera parte más son probablemente resolubles; de las que presentan un espectro lineal, ni una sola ha sido resuelta de un modo cierto por lord Rosse. Considerando la extremada dificultad que va unida á las investigaciones de este género, apenas hay motivo para dudar de que haya un completo acuerdo entre los resultados del telescopio y del espectroscopio, y por lo tanto las nébulas que dan un espectro de líneas brillantes deben considerarse como masas de gases luminosos, siendo sus principales componentes el hidrógeno y el nitrógeno.

A su tiempo presentamos al lector un cuadro, que procuramos trazar con la mayor fidelidad, del estado de nuestros conocimientos acerca de los cometas, obtenidos por medio del telescopio, con promesa de volver á tratar del asunto cuando estuviéramos familiarizados con los procedimientos de investigación que el análisis espectral ha puesto en manos de los astrónomos. Habían éstos conseguido averiguar con toda precisión las leyes del movimiento de los misteriosos viajeros procedentes de las inmensas profundidades del espacio; pero en cuanto á saber algo de su constitución física, las dificultades que se encontraron superaban aun á las que ofrecen las nébulas. El nuevo método de investigación ha permitido levantar algún tanto la punta del velo; propusieronse los astrónomos determinar, primero, si los cometas, como las estrellas fijas y las nébulas, son luminosos por sí mismos, ó si, como los planetas, brillan por la luz que reflejan del Sol; segundo, su constitución física.

Que el núcleo de un cometa no puede ser por sí mismo un cuerpo obscuro y sólido como el de los planetas, se prueba por la gran transparencia de que están dotados; pero esto no excluye la posibilidad de que se compongan de innumerables partículas sólidas, separadas unas de otras, que al ser iluminadas por el Sol producen por reflexión de la luz el efecto de una masa homogénea; se ha deducido, por consiguiente, que los cometas están compuestos ó de una substancia que, como un gas en estado de rarefacción extrema, tenga una transparencia perfecta, ó de pequeñas partículas sólidas, individualmente separadas por espacios intermedios, á cuyo través puede pasar la luz de una estrella sin el menor inconveniente, y que agrupados por sus mutuas atracciones y también por gravitación hacia una aglomeración central más densa, se mueven en el espacio como una nube de polvo.

No es imposible que los cometas sin núcleo sean masas de gas á la temperatura del blanco, de constitución semejante á la de las nébulas, y que los dotados de núcleos estén compuestos de partículas sólidas separadas. En todo caso, la relación que recientemente indicó Schiaparelli entre los cometas y las corrientes ó lluvias meteóricas, nos obliga á suponer que en muchos cometas existe una agregación de partículas de igual carácter.

Se creyó que la polarización de la luz nos daría medios de averiguar si la procedente de un objeto era propia ó reflejada, y en vista de las observaciones hechas con tal objeto con los núcleos cometarios, se llegó á admitir que los cometas brillaban con luz inherente á su misma naturaleza.

Pero esta clase de observaciones no son decisivas, ni mucho menos, porque en todos los polariscopios, la luz difusa, irregularmente reflejada, aparece tan poco polarizada como la que procede de un foco independiente.

El análisis espectral podía resolver este asunto de una vez, aplicándolo á un cometa de brillo suficiente, para formar un espectro completo. Si la luz del cometa sólo fuese la del Sol reflejada, su espectro se parecería al de la Luna y los planetas, esto es, que sería continuo y estaría cruzado por las rayas de Fraunhofer. Pero para formar este espectro es indispensable una ranura muy estrecha, y ninguno de los cometas que aparecieron en los primeros años del análisis espectral fué bastante brillante para permitir el examen de su espectro con la ranura muy reducida.

Durante los primeros ensayos de espectroscopia astronómica, no se presentó ningún cometa bastante brillante para que su luz pudiera ser analizada, hasta que en 1864 consiguió Donati examinar el que apareció en ese año, y comparando su espectro con el de los metales, halló que todo él consistía en tres líneas brillantes.

Secchi y Huggins analizaron en 1866 el cometa de Tempel, que presentaba un espectro continuo, excesivamente débil por sus dos extremos, con tres líneas brillantes según el astrónomo romano, y una sola según Huggins: la línea observada por ambos investigadores era la más brillante y estaba situada á mitad de la distancia que hay de *b* á F en el espectro solar.

En el dibujo que trazó el P. Secchi del espectro de este cometa ninguna de las tres líneas brillantes coincidía con las de la nébula de Orión; de aquí pudiera deducirse que el núcleo, al menos, es parcialmente luminoso por sí mismo

y está compuesto de gas brillante. De otro lado, el espectro continuo prueba que parte de la luz es reflejada del Sol, porque no puede admitirse que la cabellera esté formada de partículas sólidas ó líquidas incandescentes.

El espectroscopio no nos dice nada en cuanto á la naturaleza ó condición de una substancia de la que sólo recibimos luz refleja; es, sin embargo, probable que la cabellera y la cola estén formadas de la misma substancia que el núcleo. Estas observaciones, por consiguiente, no dieron más resultado sino el de saber que un gas en estado luminoso se hallaba en el cometa; pero al propio tiempo, ora este mismo gas, ya otras regiones del cometa no luminosas, reflejaban la luz del Sol.

Durante los años 1866 y 1867 observó Huggins el espectro de dos pequeños cometas, y vió que consistían en un espectro continuo y en otro de líneas brillantes; la luz de estos cometas estaba, por lo tanto, como la del cometa de Tempel, compuesta parcialmente de luz reflejada y de luz propia. Dice Huggins hablando del cometa de 1867: «En el espectroscopio forma la luz de la cabellera un espectro continuo; era imposible, á causa de la debilidad del núcleo, distinguir con seguridad el espectro de su luz, que se proyectaba sobre el ancho espectro de la cabellera. No obstante, sospecho que existen dos ó tres líneas brillantes, pero mi observación no es de confianza.»

En el año de 1868 volvieron á aparecer dos cometas periódicos de gran brillo, el de Brorsen (I) y el de Winnecke (II).

El cometa de Brorsen presentaba en el telescopio el aspecto de una nébula circular, en la cual aumentaba el brillo rápidamente de los bordes al centro, sin que se pudiera afirmar, empero, que tuviese un núcleo propiamente dicho; sólo presentaba un débil rastro de cola, ó más bien una escasa expansión de la cabellera al lado opuesto al Sol.

Examinó Secchi este cometa con un espectroscopio simple de visión directa, y comparó su espectro con el de Venus, haciendo que ambos cuerpos cayesen alternativamente en el mismo lugar del instrumento.

Huggins observó el cometa desde el 2 de mayo hasta el 13, y como Secchi, halló que el espectro (fig. 204, núm. 5) era discontinuo y constaba de tres bandas brillantes; su longitud indicaba que la luz del centro de la cabeza, del propio modo que la de la cabellera, habían penetrado en el espectroscopio. La banda más brillante de luz era la que estaba situada en la mitad del verde, entre las líneas *b* y F de Fraunhofer. Cuando el estado del cielo era muy favorable, se reducía esta banda á una simple línea brillante del ancho aparente del núcleo cometario; esta observación no es de toda confianza.

La segunda banda, menos intensa, pero bastante brillante, sin embargo, estaba situada en el amarillo verdoso, casi en el centro del espacio que hay entre las líneas *b* y D de Fraunhofer. En ocasiones se pudo también columbrar otra banda en el rojo, pero era muy difícil fijar su posición. La tercera banda se encontraba en el azul hacia el violeta, á un tercio de la distancia que hay entre F y G.

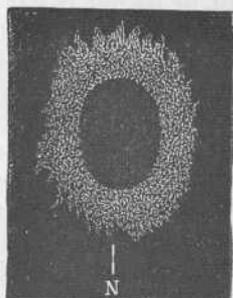


Fig. 203. - Nébula anular de la Lira con su espectro

Una luz excesivamente débil, que no se marca en la figura, se percibía al propio tiempo sobre todo el espacio del espectro, que indica la existencia de un espectro continuo en extremo débil.

Estrechando la ranura no se pudieron resolver en líneas estas bandas, como sucede con las bandas brillantes de las nebulas, y sólo se conseguía debilitar su luz hasta que llegaban á desaparecer por completo.

El espectro del cometa de Brorsen presenta una gran semejanza con el que observó Donati; pero difiere esencialmente del espectro de las nebulas, no sólo por su carácter, sino también por la posición de las bandas luminosas; esto se nota fácilmente y de una ojeada, comparando los espectros números 5 y 7 de la citada figura 204.

El P. Secchi examinó el cometa II de 1868 el 21 de junio con un espectroscopio simple sin ranura; vió que el espectro consistía en tres bandas brillantes de luz, de las que la más luminosa estaba situada en el verde; seguía otra de menor esplendor en el amarillo, siendo la más débil la que caía en el azul. Luego que cambió este instrumento por un espectroscopio de Hofmann de visión directa, pudo definir claramente las tres bandas, llegando á desaparecer la luz dispersada. Comparando la posición de estas líneas con las del espectro de diversos metales, halló que la de en medio caía muy cerca de la línea *b* del magnesio, pero el espectro en totalidad no coincidía con el de ningún metal; distinguió, sin embargo, una gran semejanza entre el espectro del cometa y el del hidrógeno carbonado, de donde dedujo que una parte del cometa estaba producida por esta substancia.

El incansable astrónomo inglés Huggins trató asimismo de estudiar este cometa con el telescopio y espectroscópicamente; pero no pudo observar el nuevo cuerpo hasta el 22 de junio, porque antes de esa fecha lo ocultaban los edificios inmediatos al Observatorio; en la noche del día citado era el cometa mucho más brillante que el de Brorsen y daba un espectro bastante perceptible que, permitía efectuar medidas y comparaciones con el espectro de las substancias terrestres.

El espectroscopio empleado constaba de dos prismas de 60°; el espectro apareció compuesto de tres bandas luminosas muy anchas (fig. 204, núm. 4) que se representan en la figura. En las dos bandas más refrangibles ofrecía la luz mayor brillo en el extremo menos refrangible, disminuyendo gradualmente hacia el otro límite de las bandas. Esta gradación de la luz no era uniforme en la banda del medio y más brillante, que continuaba con el mismo esplendor, casi en un tercio de su ancho, desde el lado menos refrangible; esta banda comenzaba, al parecer, en su lado más brillante por una línea luminosa.

La menos refrangible de las tres bandas no presentaba una disminución tan marcada en su brillo, aunque podía decirse que, á pesar de su uniformidad, era más luminosa en el centro ó mitad de su ancho.

Estos caracteres particulares de la luz emitida por la materia cometaria se pueden distinguir por algunas apariencias que presentan las bandas, á causa de la distribución de la luz en la cabellera del cometa. Las dos bandas más refrangibles se estrechan hacia el lado de mayor refrangibilidad á la vez que disminuyen de brillo; este aspecto no se debía á la distribución desigual de la luz en las diversas partes de la cabellera, sino á que la procedente de la cabellera era más

brillante hacia el centro, y por lo tanto, era emitida por una área menor de materia cometaria.



1. Espectro solar



2. Espectro del carbono del aceite de oliva



3. Espectro del carbono del gas oleificante



4. Espectro del cometa de Winnecke II 1868



5. Espectro del cometa de Borsen I 1868



6. Espectro de la chispa eléctrica



7. Espectro de las nebulas

Fig. 204. - Espectros de los cometas de Borsen y de Winnecke, comparados con los del Sol, del carbono y de las nebulas

La fuerte luz de la mancha central pudiera trazar la anchura total de la banda; pero la luz que rodeaba este punto, á medida que se hacía más débil y an-

cha, se veía á distancias más cortas, de modo que la luz de las partes más débiles cerca del margen de la cabellera sólo era visible en el lado más brillante de la banda.

El brillo creciente de la cabellera en dirección de la mancha central aparecía también en esta banda como una línea luminosa cuyo eje se debilitaba por ambas extremidades.

En la misma noche tomó Huggins varias medidas de las posiciones de estas bandas con el micrómetro del espectroscopio, que acusaban los números siguientes para el principio y fin de las tres bandas en la escala adoptada en el dibujo.

Primera banda. . .	{	1094	Segunda. . . .	{	1298	Tercera.	{	1589
		1196			1440			1700

No pudo Huggins reducir estas bandas á líneas; cuando se estrechaba la ranura, disminuían tanto en ancho como en largo, á causa de la invisibilidad de las porciones más débiles; creyó el mismo astrónomo que en la parte central brillante de la banda de en medio había dos ó tres líneas luminosas cerca del límite menos refrangible; esta parte estaba formada por la luz que provenía de la mancha central brillante.

Como hemos dicho, la banda del centro empezaba probablemente con una línea brillante, pues en este punto estaba limitada con toda distinción; por el contrario, el lugar exacto en donde principiaban y terminaban las otras bandas no llegó á observarse con toda certidumbre. Cuando se colocaban las porciones marginales de la cabellera sobre la ranura, podían dibujarse aún las tres bandas de luz; pero cuando se debilitaba el espectro, parecía continuo, y en este caso era la luz tan débil que nada se distinguía fuera de las bandas hacia el rojo ni hacia el violeta.

En la misma noche observó Huggins el cometa con el gran espectroscopio, que da una dispersión igual á cinco prismas; en este instrumento se veía muy bien la banda central; conservaba su carácter nebuloso é irresoluble, y el principio definido y cortado como una línea brillante, que ya indicamos, se veía con toda distinción.

Para que las comparaciones puedan efectuarse con más facilidad, se presentan en la figura el espectro del cometa de Borsen y el de una nébula gaseosa. El espectro del cometa de Borsen constaba de tres bandas sobre un fondo continuo muy débil; estas bandas aparecían como indica el dibujo, esto es, más angostas que las del cometa de Winnecke; no es posible afirmar hasta qué extremo depende este fenómeno de la debilidad de la luz de este último cometa; aunque las bandas del cometa de Borsen caen dentro de los límites de posición ocupados por las bandas anchas del cometa II, no corresponden con sus partes más brillantes; en la de en medio creyó percibir Huggins dos líneas brillantes que aparecían más cortas que la banda y que pudieran muy bien deberse al núcleo.

En los números 4 y 5 de la misma figura 204 se ve que las bandas del cometa de Borsen y las del cometa II ocupan en el espectro posiciones muy distintas de las correspondientes á las nébulas. El espectro de las nébulas gaseosas cons-

ta de líneas verdaderas que se hacen más estrechas á medida que se disminuye la abertura de la rendija.

Estudió Huggins con toda escrupulosidad las observaciones del cometa, con la esperanza de encontrar alguna analogía entre su espectro y el de algunas sustancias terrestres; el espectro del cometa parecía revestir ciertas formas del espectro del carbono, que este mismo astrónomo analizó con gran esmero en 1864; comparando el espectro del cometa con el dibujo del espectro del carbono, notó que las posiciones de las bandas, de igual manera que su carácter general y brillo relativo, concordaban exactamente con el espectro del carbono, cuando se hace descargar la chispa en el gas oleificante.

Aunque los caracteres esenciales del espectro del carbono permanecían constantes en todos los experimentos, se observaban ciertas modificaciones cuando el espectro se obtenía en diversas condiciones. Una de las líneas más fuertes

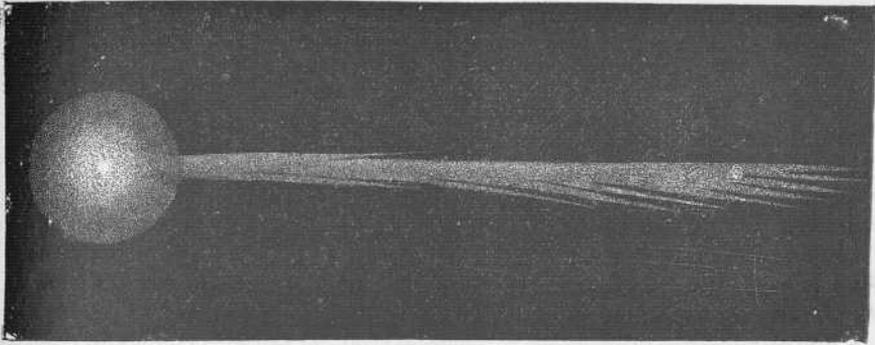


Fig. 205 - Cometa de Winnecke II 1868

del carbono está situada en el rojo, en un punto algo menos refrangible que el que ocupa la línea del hidrógeno correspondiente á la C de Fraunhofer; pues bien, esta línea no se ve cuando el carbono se inflama por la chispa de inducción en presencia del hidrógeno. Otras dos modificaciones del espectro del carbono se dan en la *fig. 204*.

El primer espectro representa el del carbono cuando la chispa del carrete con la botella de Leyde en el circuito, se hace pasar entre las puntas de platino masticadas en tubos de vidrio cerrados y puestas casi en contacto con el aceite de olivas; en este espectro se ven las principales líneas fuertes que caracterizan al carbono.

Las sombras de líneas finas que acompañan á las más vigorosas no es posible representarlas exactamente á causa de las reducidas dimensiones del grabado. Un espectro igual á este se produce cuando salta la chispa en una corriente de cianógeno; podemos agregar que cuando la potencia calorífica de la chispa se reducía á cierto límite, aunque seguía verificándose la descomposición del aceite, no se volatilizaba el carbono y el espectro era continuo.

El tercer espectro de la figura representa la modificación de este tipo cuando se hace pasar la descarga en una corriente de gas oleificante; el vapor alta-

mente caldeado del carbono emitía luz de la misma refrangibilidad que en el experimento del aceite, pero no se podían columbrar las líneas fuertes separadas, con una chispa de igual potencia. Las sombras no se componían de rayas finas y numerosas cuando el carbono se obtenía del gas oleificante y más bien se presentaban como una luz nebulosa irresoluble.

Agregaremos, para evitar conceptos equivocados, que en todos estos experimentos se veían también las líneas de otros elementos; pero como eran conocidas, no había necesidad de ocuparse de ellas.

En el experimento de la chispa en el gas oleificante, las tres bandas de la figura constituyen todo el espectro, á excepción de una banda débil, en su parte más refrangible.

El espectro del cometa concordaba, al parecer, con el del carbono obtenido en estas condiciones; de modo que creyó Huggins necesario comparar directamente ambos espectros en el mismo aparato y á un tiempo mismo, empezando sus trabajos sobre este punto en la noche del 23 de junio.

La disposición general del aparato usado en estas investigaciones es la que representa la figura 206. Una botella de vidrio *a*, convertida en gasómetro, contiene el gas oleificante, y va unida á un tubo flexible *b* en el cual se sueldan dos hilos de platino; la parte del tubo que está enfrente de las puntas de los alambres se agujerea, cubriendo luego los orificios formados, con dos placas de vidrio bien planas, que se sostienen en su sitio con una cinta de goma. Se colocaba este tubo en su verdadera posición delante del espejo pequeño *c* del espectroscopio con cuyo auxilio se reflejaba la luz de la chispa en el instrumento, y se verá su espectro inmediatamente debajo del espectro del cometa. El espectroscopio empleado constaba de dos prismas de 60 grados.

El extremo más brillante de la banda central del espectro cometario coincidía con el principio de la banda correspondiente del espectro de la chispa; como este límite de la banda se encontraba en ambos espectros perfectamente definido, se pudo observar de un modo bastante satisfactorio, y dada la potencia del espectroscopio, cabe decir que el error de su posición no pasa de la distancia que hay entre las componentes de la línea doble D. Pero siendo los límites de las otras bandas menos distintas y perceptibles, no se pudo determinar su situación con la misma exactitud.

La aparente identidad del espectro del cometa con el del carbono no se apoya únicamente en la coincidencia del espectro de las bandas, sino también en la notable semejanza de las bandas correspondientes en sus caracteres generales y brillo relativo, lo cual se nota muy bien en la banda central, cuya gradación de brillo no es uniforme. Esta banda conserva en ambos espectros un esplendor casi igual para la misma proporción de longitud.

El cometa de Winnecke II de 1868 fué examinado también en París por medios espectroscópicos por el astrónomo Wolf, quien notó asimismo que las tres bandas brillantes separadas unas de otras por espacios perfectamente oscuros no podían reducirse á líneas estrechando la ranura, de manera que el espectro no presentaba ninguna analogía con el de las nebulosas.

El espectro del cometa I de 1870 fué examinado por Wolf y Rayet; constaba, lo mismo que el de los tres anteriores, de tres bandas brillantes que se ex-

tendían sobre un fondo continuo. Huggins da cuenta de sus observaciones espectrales sobre este nuevo cuerpo en los términos siguientes:

«El 7 de abril descubrió el Dr. Winnecke otro cometa, y pude examinarlo el 13 del propio mes y el 2 de mayo; en ambas fechas se presentó muy débil, particularmente en la segunda noche, á causa de la presencia de la Luna y de la opacidad de la atmósfera; su apariencia era la de una cabellera que se extendía al lado opuesto al Sol; observado en el espectroscopio, pude percibir que la luz de la cabellera constaba, casi exclusivamente, de tres bandas brillantes; la del centro, que era la más luminosa, tenía una longitud de onda de 510 millonésimas de milímetro; no pude medir con exactitud la posición de la banda menos

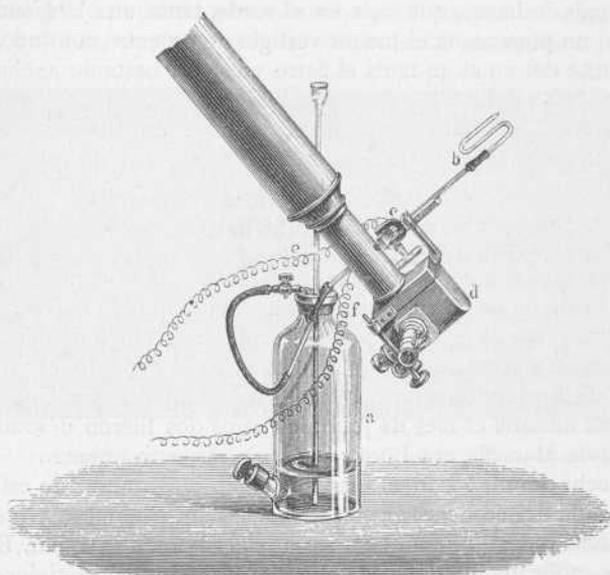


Fig. 206. — Aparato de Huggins para observar el espectro de los hidro-carburos

refrangible, pero me parece que su longitud de onda sería de 545 millonésimas de milímetro. La tercera banda estaba situada á la misma distancia, poco más ó menos, de la banda central, en el lado más refrangible.»

Tres años después aparecieron otros cometas que también fueron analizados con el prisma por Wolf y Rayet; he aquí los resultados de sus observaciones:

«El cometa descubierto en Marsella por Borelly en la noche del 20 al 21 de agosto de 1873 presenta la forma de una nebulosidad circular de dos minutos de diámetro próximamente, con un núcleo central bastante brillante; su espectro es continuo desde el amarillo hasta el violeta, debido en parte á la luz solar reflejada, y consta también de dos bandas luminosas, una en el verde y otra en el azul. La banda verde es intensa, claramente limitada en el rojo y difusa hacia el violeta; la banda azul, cuyo esplendor es próximamente como de la mitad de la precedente, está también limitada en la parte del rojo y presenta cierta difusión hacia la del violeta. El espectro continuo ofrece mucho más bri-

llo que los cometas que hemos estudiado anteriormente, siendo al propio tiempo mucho más estrecho. Tal vez se deberá á un núcleo sólido.»

El mismo año se descubrió en el Observatorio de París, por los hermanos Henry, un cometa (IV 1873) cuya luz, estudiada con tres noches de intervalo, dió los espectros que se representan en la fig. 207. En la noche del 26 al 27 de agosto tenía el cometa la forma de una nebulosidad circular con una condensación de luz muy viva en el centro; su aspecto era muy semejante al del cúmulo ó conglomerado estelar de la constelación de Hércules, visto en un instrumento de poder óptico insuficiente para resolverlo en estrellas. El espectro se componía de las tres bandas luminosas ordinarias, con la circunstancia de que la línea más brillante, que caía en el verde, tenía una longitud doble que las otras dos; no presentaba el menor vestigio de espectro continuo.

En la noche del 29 al 30 tenía el astro una cola bastante ancha de 25" de longitud, y el brillo del núcleo central había crecido desde la séptima á la sexta magnitud. La cabeza del cometa ofrecía siempre un espectro compuesto de tres bandas luminosas, pero atravesado en este caso por un espectro continuo muy débil. Como el brillo del astro había aumentado, se pudo efectuar la observación espectral con una ranura relativamente estrecha, y la banda del verde tomó entonces un carácter más pronunciado; en una parte de su longitud estaba terminada por ambos lados por una línea recta, más brillante hacia la región del rojo. El brillo de las líneas amarilla y azul era también mayor.

En el primer semestre de 1874 se descubrieron cinco cometas nuevos; el primero, el 20 de febrero por el doctor Winnecke; el segundo, el 11 de abril por Winnecke y Tempel; el tercero, que fué el más brillante, por Coggia, visible á la simple vista durante el mes de julio; los otros dos fueron descubiertos en el Observatorio de Marsella por Borely y Coggia respectivamente.

El P. Secchi examinó con el espectroscopio el segundo de estos cometas, en la madrugada del 20 de abril; su luz era bastante hermosa y presentaba un núcleo nebuloso rodeado de un abanico de nebulosidad irregular. El espectroscopio simple, aplicado al gran refractor de Merz, indicó vestigios de bandas; pero la difusión del objeto no permitía el empleo de este instrumento y fué necesario hacer uso del espectroscopio compuesto adaptado al anteojo, pues la debilidad era tal, que no se podía tener seguridad en lo que se observaba. Quitó entonces el P. Secchi el anteojo, observando únicamente con el espectroscopio, y distinguió el espectro formado por tres bandas separadas, una en el verde azulado, otra en el verde propio y la tercera en el verde amarillento. La primera era la más viva y extensa, y las otras dos, principalmente la de en medio, eran más débiles. A primera vista juzgó el P. Secchi que estas bandas se hallaban en el mismo lugar que las de los demás cometas, pero no pudo llegar á efectuar medidas rigurosas.

El mismo astrónomo describe así sus observaciones espectroscópicas del cometa de Coggia:

«El 17 de mayo pude comprobar que el espectro estaba en realidad formado de bandas; dos de ellas, sobre todo, muy vivas, se hallaban situadas en el verde y en el verde amarillento; habiendo iluminado el tubo del anteojo delante de la ranura con la luz difusa de distintos gases, observé que las dos bandas

brillantes principales correspondían con las del espectro del óxido carbónico. La debilidad de la luz no me permitió reconocer las otras dos bandas.»

La luz de este cometa fué analizada por los astrónomos de París Wolf y Rayet; el 19 de mayo pudo este último efectuar una primera observación algo completa; el astro tenía cerca de tres minutos de diámetro y su cola comenzaba á desarrollarse; analizada la luz con el prisma, daba un espectro continuo desde el anaranjado hasta cerca del azul (espectro del núcleo sólido), atravesado por tres bandas brillantes (espectro de la nebulosidad gaseosa); aunque presentaba el aspecto general de los espectros de estos astros, se diferenciaba por las dimensiones y esplendor relativo de sus diversas partes. Así, pues, el espectro continuo del núcleo es por lo general ancho y difuso, y en el cometa de Coggia era, por el contrario, muy estrecho. De otro lado, las bandas luminosas transver-

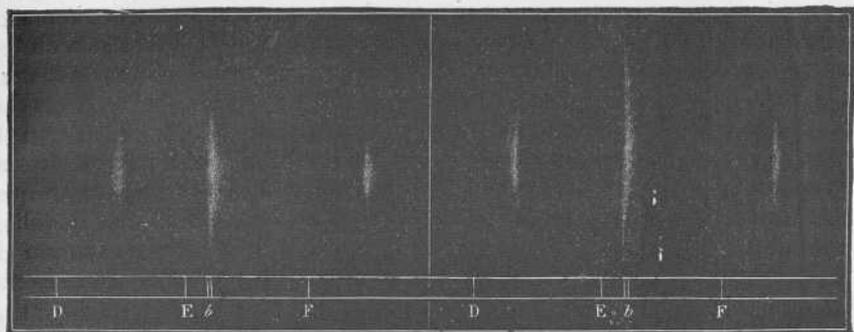


Fig. 207. — Espectro del cometa IV de 1873. — 1.º El 26 de agosto. — 2.º El 29 de agosto

sales, en lugar de difundirse hacia la parte más refrangible, se terminaban hacia el rojo y el violeta, por líneas rectas bastante acusadas; este detalle, notable en particular en la banda media más larga y luminosa, era para llamar la atención, pues se observaba por primera vez.

Otra observación se hizo en la noche del 4 al 5 de junio, que confirmó el hecho anterior.

«El espectro continuo, dice Rayet, correspondiente al núcleo, es en extremo delgado, y casi tanto como el de una estrella vista en el mismo instrumento; hace recordar el espectro de una estrella de sexta magnitud, pero sin coloración hacia las extremidades. El espectro se extiende por ambas partes más allá de las tres bandas luminosas; el espectro de las bandas se compone de tres líneas que, por su refrangibilidad, corresponden al amarillo, al verde y al azul. La banda central es larga, muy luminosa, y cuando se estrecha convenientemente la ranura, se termina hacia el rojo y el violeta, por líneas rectas detalladas; de modo que aquel aspecto degradado que presentan los espectros cometarios no se encuentra en este caso; las bandas del amarillo y del azul tienen un brillo de la mitad próximamente que la anterior, y se difunden hacia los bordes, acercándose al tipo ordinario.

»Si en vez de colocar la ranura del espectroscopio sobre la imagen focal, de

modo que se obtenga á la vez el espectro del núcleo y el de la nebulosidad que lo rodea, se dispone la rendija de tal manera que corte la imagen de la cola, se obtiene un espectro que ofrece las tres bandas brillantes, ya descritas, sin rastro de espectro continuo, y separadas unas de otras por intervalos oscuros. En la cola no hay, pues, materia sólida incandescente en cantidad sensible.»

El P. Secchi repitió sus observaciones sobre la luz del cometa de Coggia, confirmando en sus resultados principales los estudios que acabamos de presentar. Las tres bandas brillantes y el espectro continuo que las cortaba transversalmente tenfan, en las fechas del 18 de junio y del 9 de julio, el aspecto que indica la fig. 208. El astrónomo del Colegio Romano llama la atención sobre una particularidad que fácilmente se observa; queremos hablar de las interrupciones que presenta el espectro continuo en la proximidad de las bandas, muy sensibles, sobre todo, en la segunda observación. «Observando, dice, el espectro con un prisma de Nicol, se veía debilitarse la parte continua de un modo considerable, mientras que las bandas conservaban todo su brillo. Esta observación daría motivo para creer que el espectro continuo se debiese á la luz refleja.» Vemos, pues, que en este último punto difiere la opinión del P. Secchi de la expresada por los astrónomos de París antes expuesta, que consideran el espectro continuo como producido por un núcleo sólido en cierto estado de incandescencia. Parece cierto que la luz del cometa estaba polarizada, lo que se prueba por las observaciones efectuadas en Roma durante el mes de julio; pero tampoco hay razón de peso que se oponga á que el núcleo emitiese al mismo tiempo luz propia y á que reflejase en parte la del Sol. Esta cuestión no está resuelta, y todavía existe una duda sobre la naturaleza de la luz cometaria, según habrá notado el lector, por las descripciones que hemos dado del examen de varios cometas.

Vamos á agregar algunos detalles debidos al mismo astrónomo, quien pudo observar el cometa más tiempo que sus colegas del Observatorio de París, como lo prueba la fecha del 17 de julio de la comunicación que sigue.

«El cometa, dice, examinado con los oculares ordinarios era magnífico; el 9 de julio formaba un abanico rojizo (por contraste con el núcleo) de una abertura de 180 grados próximamente, de rayos curvilíneos que partían de un núcleo amarillo verdoso. Forzando el aumento hasta cien veces, se veía el núcleo coronado por tres penachos débiles y reducidos á una pequeña esfera difusa de 2 segundos escasos de diámetro. La carencia de límite marcado y el efecto producido por las amplificaciones poderosas demostraban que el núcleo no estaba formado por ningún cuerpo sólido; los mismos aumentos mostraban, en efecto, los satélites de Júpiter con un disco perfectamente terminado.

»Invitado por Mr. Hind, traté de buscar el cometa durante el día, pero sin resultado; parece poco probable que se columbre en tales condiciones, pues Júpiter, que es mucho más brillante, tampoco es visible. El 17 de julio era enorme su cola y llegaba á la estrella *epsilon* de la Osa mayor, y su cabeza se hallaba bajo el horizonte; lo menos tendría 45 grados de longitud. El 13 se hallaba muy dilatado alrededor de la cabeza.»

Habiendo comparado el P. Secchi las posiciones de las bandas brillantes del espectro cometario con las de los espectros del óxido de carbono y del áci-

do carbónico, las halló correspondientes; pero empleando hidrocarburos, ninguna de las rayas hidrogénicas coincidía al parecer con las del cometa. Estos resultados prueban que los astrónomos no se hallan aún conformes en la interpretación de los hechos relativos al análisis espectral, pues en una carta escrita en Moscou por Bredechin, y dirigida á los observadores italianos, se lee que las posiciones de las bandas del espectro del cometa, comparadas con las del carburo de hidrógeno de un tubo de Geissler, coincidían con las que tienen por longitud de onda 5.633, 5.164 y 4.742 de la escala de Angstrom.

En Palermo observó Tacchini el cometa por métodos diversos. «Las rayas brillantes observadas en el espectro del cometa eran cuatro, las que referidas al espectro solar correspondían á las posiciones siguientes de la escala de Angs-

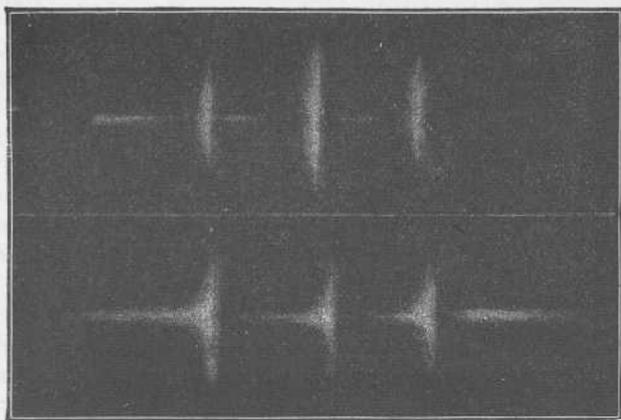


Fig. 208. - Espectros del cometa de Coggia ó III de 1874, según las observaciones de Secchi

trom: 6.770, 5.620, 5.110 y 4.800. Las posiciones de estas rayas no pueden considerarse como rigurosamente exactas, á causa del medio que sirvió para obtenerlas, pero es claro que las tres últimas corresponden al espectro del carbono. La del rojo era menos distinta que las otras, porque en esta parte se presentaba el rojo muy vivo y difuso; esta raya sólo se vió bien durante las primeras noches, es decir, á fines de junio y principios de julio. Las otras tres líneas no presentaban igual longitud, y la más extensa era la 5.620; la 5.110 era la más viva de todas y parecía blanca casi, como ocurre con las rayas del magnesio después de las erupciones solares. El espectro continuo del núcleo del cometa se proyectaba como sobre un fondo formado por un espectro solar más intenso en el rojo, que, según decimos, estaba más dilatado. Esta hermosa cinta coloreada sólo se observaba en el paso del núcleo, el que visto simplemente con el ocular parecía de un color blanco verdoso, mientras que el amarillo era sensiblemente rosa, aun cuando se ocultase el núcleo.

»En la viva luz solar que reflejaba el núcleo debieran mostrarse algunos vestigios de polarización, y para comprobar su existencia invité al profesor de

física señor Pisati para que observase conmigo, con auxilio del polariscopio que tenía á su disposición. Habiendo aplicado un bicuarzo al anteojo, aparecieron indicios de polarización, pero débiles; con un prisma de Nicol apareció la luz fuertemente polarizada, encontrándose su parte más débil cuando la sección principal del Nicol coincidía con la dirección de la cola, de donde se deduce que la luz estaba polarizada en un plano que pasaba por el Sol. El experimento se repitió también en la parte más viva de la cola y se obtuvo el mismo resultado. Hacia la mitad de la cola era tan débil la luz, que nada podía asegurarse con certidumbre; pero parece probable que la reflexión tuviera lugar en toda la longitud de la cola.»

Estas afirmaciones, tan terminantes, respecto de la polarización de la luz del cometa de Coggia, fueron confirmadas por las observaciones de Wright, efectuadas en los Estados Unidos; según este astrónomo, una porción considerable de la luz del cometa proviene del Sol y la vemos por reflexión.

Es prematuro todavía sacar deducciones decisivas de estas observaciones, de mucho mérito, sin duda alguna, pero poco numerosas. El espectro de las tres bandas brillantes se deriva, incuestionablemente, de la luz del núcleo cometario y no de la que corresponde á la cabellera, que es demasiado débil y está muy mal definida para que pueda producir un espectro semejante; no hay inconveniente, por tanto, en admitir que el núcleo sea luminoso por sí mismo, y muy verosíblemente, que está compuesto de un gas en estado de incandescencia, que contiene carbono. Esta teoría la rechazó hace tiempo Prazmowski, quien hizo algunos experimentos sobre la luz reflejada por tiras de papel coloreado, débilmente iluminadas, y halló que el espectro de un cuerpo que el Sol ilumina con muy poca fuerza, presenta exactamente la misma apariencia que observaron Secchi y Huggins en el cometa de 1868 y en algunos de los posteriores; el espectro de bandas, por consiguiente, que daba este cometa, no prueba que el cuerpo fuese luminoso por sí mismo y aun la luz emitida por el núcleo puede ser también luz reflejada.

La hipótesis de Prazmowski es insostenible de todo punto. Huggins notó que un espectro de bandas brillantes debe producirse por un gas en estado fluorescente; pero en el caso de coincidir el espectro cometario con el del carbono queda el hecho sin explicar. Secchi afirma, en contra también de Prazmowski, que las bandas brillantes y las oscuras de absorción que se ven en el espectro de la luz reflejada por una superficie de color, no presentan nunca esos bordes cortados que se observan en el espectro de los cometas; con su magnífico polariscopio notó la polarización de la cabellera principalmente, sin columbrar el menor indicio en el núcleo, que, dado caso de que hubiera reflejado la luz del Sol, habría manifestado una polarización mucho mayor.

Enlazando estos diversos fenómenos, se adquiere el convencimiento casi completo de que los núcleos de los cometas, no sólo emiten luz propia producto de un gas inflamado, sino que también reflejan, como la cabellera y la cola, la luz del Sol; así, pues, nada hallamos que se oponga á la teoría que considera las masas cometarias formadas por pequeños cuerpos sólidos separados unos de otros, de igual manera que lo están los corpúsculos infinitesimales constituyentes de una nube de humo ó de polvo; y que á medida que el cometa se aproxima al Sol,

los compuestos más fusibles de estos pequeños cuerpos se volatilizan total ó parcialmente, y en estado de calor blanco alcanzan á las otras partículas sólidas, rodeando el núcleo de una nube, luminosa de por sí, de vapor inflamado. El análisis espectral no nos suministrará más testimonios ciertos respecto de la naturaleza física de los cometas, hasta que aparezca uno de estos astros de gran brillo, como el de Donati, por ejemplo, que pueda examinarse en sus diversas fases.

Otros muchos cometas han sido analizados posteriormente, y del estudio de todos ellos se deduce que su espectro se parece más al del carbono en ignición que al del carbono hecho incandescente por la corriente eléctrica.

Hemos estudiado ya en otro lugar de esta obra las leyes que rigen los movimientos y apariciones de los globos de fuego y meteoros luminosos que cruzan el espacio; de sus aspectos y formas y de sus trayectorias, también dijimos lo necesario para la clara inteligencia de este punto interesante de la ciencia astronómica, y ahora vamos á ocuparnos de las revelaciones del análisis prismático sobre la naturaleza de estos cuerpos.

Se admite hoy día casi de un modo universal, gracias á las recientes observaciones de Schiaparelli, Le Verrier, Weiss y otros, que estos meteoros, pequeños en su mayor parte, pero que á veces llegan á pesar muchas toneladas, son masas ó fragmentos de masas que giran, como los planetas, alrededor del Sol y que en su curso se aproximan á la Tierra, y atraídos por ésta, penetran en la atmósfera inflamándose por el calor generado por la resistencia que ofrece el aire comprimido. Otros proceden de las profundidades del espacio.

La altura á que aparecen los meteoros es muy variable y puede comprenderse entre los límites de 18 y 38 leguas; por término medio se admite la altura de 26 leguas. La velocidad con que caminan es también muy variable y generalmente no pasa de 11 leguas por segundo, ó sea vez y media la de la Tierra en su órbita; el máximo y el mínimo difieren en extremo, pues se ha estimado la velocidad de algunos meteoros en 5 leguas y la de otros en 40 leguas por segundo.

Cuando uno de estos uranólitos oscuros, dotado de una velocidad de 660 leguas por minuto, encuentra á la Tierra, que á su vez corre por los espacios con una velocidad media de 458 leguas por minuto, y cuando á causa de la atracción terrestre se aumenta su velocidad en unas 92 leguas por minuto, halla ese cuerpo una resistencia tan enorme, aun en las regiones de la atmósfera más altas y rarificadas, que tiene que disminuir su velocidad y pierde en muy corto tiempo una parte muy importante de su fuerza viva; esta resistencia produce un resultado común á todos los cuerpos, que estando en movimiento se detienen bruscamente.

Si se hace girar una rueda con gran rapidez, su eje, ó la chumacera que lo sustenta, se caldea por el rozamiento hasta el rojo. En los cursos de física se hace sensible el calor que desarrolla el rozamiento, por medio del siguiente experimento ideado por Tyndall:

Un tubo de vidrio lleno de agua (fig. 209), cerrado con un corcho, puede recibir un rápido movimiento de rotación alrededor de su eje. Durante su movimiento, se le sujeta con una pinza de madera forrada de cuero; el agua se va calentando gradualmente, acaba por llegar al punto de ebullición y en un momento dado salta el tapón seguido de un abundante golpe de vapor.

Cuando una bala de cañón choca repentinamente con gran velocidad contra una placa de hierro, como ocurre en el tiro al blanco, se ve saltar una chispa de la bala, aun en medio del día; en análogas circunstancias, una bala de plomo se funde parcialmente.

El calor de un cuerpo consiste en el movimiento vibratorio de sus moléculas; un aumento de este movimiento molecular es sinónimo de una elevación de temperatura; cuando disminuyen estas vibraciones, se dice que el cuerpo se enfría. Ahora bien: si un cuerpo en movimiento, como verbigracia una bala de cañón, choca contra una plancha de hierro, ó un meteorito percute contra la atmósfera terrestre, en proporción que disminuye su velocidad, y se anula la acción externa por la presión del medio resistente sobre las moléculas anteriores, crece la vibración de estas mismas partículas; ese movimiento se comunica inmediatamente al resto de la masa, y por la aceleración de esta vibración en todas las partículas se eleva la temperatura del cuerpo.

Este fenómeno, que se verifica siempre que se interrumpe el movimiento de un cuerpo, se expresa diciendo que *el movimiento de la masa se convierte en vibración molecular ó calor*; es ley sin excepción que dondequiera que el movimiento externo de la masa disminuye, tiene lugar una acción interna equivalente entre sus partículas, que es el calor, y puede suponerse que hasta en los estratos más altos y rarificados de la atmósfera terrestre, ha de disminuir rápidamente la velocidad del uranolito por su acción opuesta ó resistencia que le ofrece á su paso, así que poco tiempo después de entrar en nuestra atmósfera, se acelera hasta tal grado la vibración de las moléculas interiores, que su temperatura se eleva al calor blanco, fundiéndose una parte del meteorito si es de dimensiones considerables, ó disipándose en vapor si es suficientemente pequeño, dejando tras sí una estela luminosa de gases inflamados.

Haidinger, en una teoría que abraza todos los fenómenos que presentan estos cuerpos, explica la aparición de un bólido ó estrella fugaz, suponiendo que el meteorito, á consecuencia de su rápido movimiento á través de la atmósfera, comprime el aire que halla por delante hasta que se hace luminoso; el aire comprimido en que brillan las partículas sólidas de la superficie del uranolito, lo rodea por todas partes, excepto por la superficie posterior del meteoro, en donde se forma un espacio vacío de hechura de pera, pareciendo al observador como un globo de fuego. Si varios de estos cuerpos entran en la atmósfera terrestre á un tiempo mismo, el mayor de ellos precede á los demás porque el aire ofrece menos resistencia á su superficie, proporcionalmente más pequeña, y el resto sigue el rumbo del primer meteoro, que es el único que aparece rodeado de un globo de fuego. Cuando á causa de la resistencia del aire se detiene el movimiento del meteoro, permanece por un momento en perfecto reposo, se extingue la bola de fuego ó bólido, el aire incumbente se precipita en el vacío que se forma detrás del cuerpo, el cual, abandonado exclusivamente á la acción de la gravedad, cae verticalmente en la superficie de la Tierra.

La detonación que por lo común acompaña á estos fenómenos se explica con toda facilidad por la violenta concusión del aire que está detrás del uranolito, sin que sea menester atribuirle á un resultado de la explosión del mismo cuerpo.

Como muchos meteoros se extinguen antes de llegar á la Tierra, parece na-

tural deducir que sus masas han de ser muy pequeñas. Si se averigua la distancia de un meteoro á la Tierra y también su brillo aparente en comparación con el de un planeta, es posible, estimando su luminosidad por la analogía que ofrezca con una cantidad conocida de gas inflamado, apreciar el grado de calor desarrollado por la combustión del meteoro. Y como este calor se origina porque el movimiento del uranolito se interrumpe por la resistencia del aire, y como esta fuerza viva ó cantidad de movimiento depende de un modo exclusivo de la velocidad del cuerpo y también de su masa, es posible, cuando se conoce la velocidad por observaciones directas, determinar la masa.

El profesor Alejandro Herschel calculó por este método que los meteoros del 9 y 10 de agosto de 1863, que igualaban en brillo á Venus y Júpiter, debieran poseer una masa de tres á cinco kilogramos, y que los de brillo semejante al de

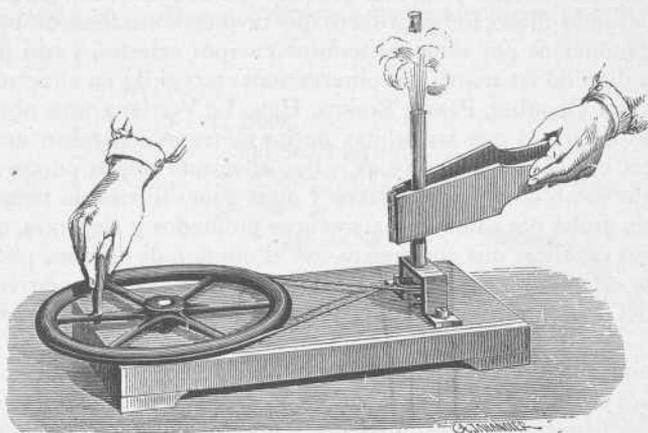


Fig. 209 — Calor desarrollado por rozamiento

las estrellas de segunda á tercera magnitud pesarían cuatro ó cinco gramos. Como la mayor parte de los meteoros que se observan ofrecen menor brillo que las estrellas de segunda magnitud, los meteoros débiles sólo pesarán unos cuantos centígramos; pues según los trabajos del mismo profesor, los cinco meteoros observados en la noche del 12 de noviembre de 1865, algunos de los cuales superaron en brillo á las estrellas de primera magnitud, tenían de peso, por término medio, unos tres decígramos: Schiaparelli estimó que el peso de un meteoro que observó en condiciones favorables no pasaría de nueve decígramos. Sin embargo, la masa de las piedras meteóricas que han caído en la Tierra es considerablemente mayor, según hemos podido demostrar en otro lugar de esta obra. También es mayor la masa de las nubes meteóricas compuestas de pequeños cuerpos en número incalculable, que penetran en la atmósfera de nuestro planeta con trayectorias paralelas, como indica la fig. 210, y que por su ignición simultánea y caída hacia el suelo, presentan el aspecto de un gran meteoro roto en varios pedazos.

No hay que suponer, sin embargo, que la densidad de semejante nube cós-

mica sea tan grande cuando se encuentra fuera de la atracción del Sol y de la Tierra, como cuando llega á caer en la superficie del globo. Según los cálculos de Schiaparelli, fundados en la observación de los meteoros del mes de agosto, la distancia que media entre ellos es, poco más ó menos, de 185 leguas; á medida que las nubes cósmicas que producen los meteoros se aproximan al Sol, en su errante camino al venir de las profundidades del espacio, se va aumentando su densidad unos cuantos millones de veces; por consiguiente, la distancia entre los uranolitos de varios centígramos de peso, antes de que la nube principie á condensarse, puede ser superior á 16.000 leguas.

Por lo que hemos aprendido respecto de la naturaleza y constitución de los cometas, nébulas, nubes cósmicas y enjambres meteóricos, resulta que al parecer existe una gran semejanza de forma entre todos estos cuerpos. La afinidad que hay entre los cometas y los meteoros la reconoció Chladni; pero Schiaparelli, como llevamos dicho, fué el primero que tuvo en consideración todos los fenómenos producidos por estos misteriosos cuerpos celestes, y con maravillosa perspicacia discutió las numerosas observaciones recogidas en el curso de los últimos años por Oppolzer, Peters, Bruhns, Heis, Le Verrier y otros observadores.

No sólo demostró que las órbitas de los meteoros indicaban una estrecha coincidencia con las de los cometas, y que el mismo objeto puede aparecer á nuestra vista como cometa unas veces y otras como lluvias de meteoros, sino que también probó por cálculos matemáticos profundos y elegantes, que las dispersas masas cósmicas que conocemos con el nombre de nébulas, podrían, si en su viaje por el infinito se acercaran lo suficiente para experimentar la atracción poderosa del Sol, convertirse en cometas y éstos á su vez en enjambres de uranolitos,

En comparación con estas conclusiones importantes, obtenidas por la observación de los fenómenos y por el cálculo, que manifiestan la naturaleza y mutuo enlace de las nébulas, cometas, meteoros y bólidos, son de valor muy secundario los resultados del análisis espectral aplicado al estudio de estos últimos cuerpos. No es esto de extrañar, si consideramos la rapidez con que estos fulgentes meteoros cruzan por la atmósfera y lo difícil que es apuntarles con los espectroscopios en los breves instantes que dura su aparición; antes de que se pueda dirigir el instrumento al meteoro ó bólido y de que se ajuste el foco, desaparece el objeto de la vista; por consiguiente, la aplicación del análisis espectral al examen de estos fugaces viajeros es puramente fortuita y sólo puede emplearse con algún éxito en las noches en que todos los años, y en períodos conocidos de antemano, se sabe que ha de tener lugar una lluvia copiosa de estrellas fugaces.

En el año de 1865 consagró su atención Alejandro Herschel al estudio de los meteoros del año siguiente, y sugirió la idea de que podían observarse con el espectroscopio, fundándose en que algunas observaciones espectroscópicas, efectuadas previamente, habían demostrado que el espectro de los meteoros era continuo y carecía de líneas oscuras. Browning, óptico famoso de Londres, emprendió esta investigación y observó en las noches del 9 y del 10 de agosto, y también en las primeras horas de la mañana del 14 de noviembre, en su Observatorio particular de Upper Holloway, cerca de Londres, nada menos que setenta espectros de meteoros y de sus rastros.

El espectroscopio de mano que ya describimos es muy á propósito para el análisis de las estrellas fugaces; mejor aún es el instrumento que se representa en la fig. 211, construído especialmente por Browning para su propio uso, con el cual el ángulo aparente se disminuye mucho, y que á causa de su gran campo visual facilita en extremo la observación de las estrellas fugaces.

Este instrumento consiste en un prisma compuesto, de visión directa, P, y de una lente cilíndrica plano-cóncava. M_1 , M_2 , M_3 indican tres posiciones sucesivas en el curso del meteoro, y m_1 , m_2 , m_3 manifiestan el camino seguido por los rayos desde el meteoro á la lente L; las líneas de puntos indican el curso que siguen los rayos al pasar á través del medio refringente.

El rayo m_1 llega al ojo al mismo tiempo que el rayo m_3 , de manera que á la vista se presenta toda la región del cielo comprendida entre M_1 y M_3 y es posible observar, en consecuencia, la carrera del meteoro en ese trayecto, sin necesidad de mover el instrumento; en este espectroscopio parece que las estrellas

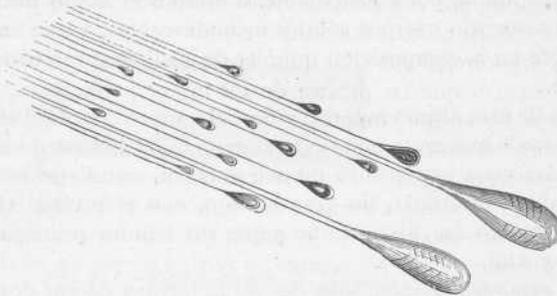


Fig. 210. - Trayectorias paralelas de los meteoros

fugaces no tienen movimiento y sus espectros se examinan con toda comodidad. Browning consiguió observar con este pequeño aparato los espectros de algunos cohetes lanzados á corta distancia, y aunque la velocidad angular de estas piezas de arteificio era muy considerable, pudo, sin embargo, distinguir sin dificultad las líneas características de los metales que entraban en su composición, esto es, del bario, estroncio, sodio, etc.

Si se coloca una lente bicóncava de foco más largo que la cilíndrica, inmediatamente enfrente de L, y dirigida hacia el cielo, entrarán en el ojo rayos dotados de mayor convergencia que M_1 y M_3 , aumentándose por tal medio de un modo considerable, el campo visual del instrumento.

Para efectuar Browning sus observaciones, dirigió el instrumento al lugar del cielo de donde arrancaban los meteoros y consiguió que varios de ellos entrasen en el campo visual del espectroscopio, de modo que, sin mayor esfuerzo, pudo determinar sus caracteres espectrales.

El espectro de las cabezas de los meteoros era principalmente continuo y aparecían en él todos los colores prismáticos del espectro solar, excepto el violeta; en algunos casos, sin embargo, predominaba el color amarillo; en otros se componía el espectro, casi por completo, de un tinte amarillento, por más que se percibían, aunque muy débilmente, todos los demás colores desde el rojo

al verde. En dos meteoros se observó un espectro homogéneo de color agrisado; no había diferencia perceptible en la luz de los núcleos de las estrellas fugaces de agosto y noviembre.

En el rastro ó cola de los meteoros de agosto sólo se percibía una línea amarilla de intenso brillo, lo cual indica la presencia de un gas luminoso; esta línea podía compararse exclusivamente á la del sodio incandescente.

En los meteoros de noviembre, por el contrario, el espectro de la cola se caracterizaba por su continuidad y anchura, y también por su falta de color; la luz, que generalmente era azul, verde ó gris de acero, parecía ser homogénea; pero esta apariencia pudiera provenir de la propia debilidad de la luz, como sucede con las estrellas fijas inferiores á la tercera magnitud, en cuyos espectros faltan los rayos rojos y azules.

La línea amarilla que exhibe el rastro de los meteoros de agosto faltaba también en el de las estrellas fugaces de noviembre. El principal resultado de estas investigaciones se limita, por consiguiente, á establecer como hecho demostrado, que los meteoros son cuerpos sólidos incandescentes, y que existe una diferencia discernible en la composición química de las lluvias meteóricas de agosto y de noviembre.

El enjambre de este último mes fué observado por el P. Secchi el año de 1868. Entre los numerosos meteoros que dejaron en el cielo un rastro luminoso, hubo uno, en particular, cuya estela duró quince minutos, siendo de brillo suficiente para que se pudiera examinar, sin gran trabajo, con el prisma. Halló el sabio jesuíta que el espectro era discontinuo y que sus bandas principales eran roja, amarilla, verde y azul.

Además de esta observación, tuvo Secchi la fortuna de ver dos meteoros en el espectroscopio; la línea del magnesio se percibió con gran distinción y también aparecieron algunas más en el rojo.

Debido á la gran dificultad que presenta la observación espectral de los meteoros con instrumentos provistos de ranura, sólo se emplean en estas investigaciones espectroscopios especiales con lente cilíndrica; si los cuerpos analizados ofrecen un diámetro muy sensible, es difícil ver las líneas destacadas con distinción; pero en otro caso, como, por ejemplo, en la mayoría de las estrellas fugaces y en los cohetes disparados á distancia, un ojo ejercitado percibe en el acto las líneas luminosas que exhiben estos objetos.

En el mes de julio de 1874 recibió el compilador de esta obra un espectroscopio de Browning, construído especialmente para el análisis de las estrellas fugaces, y que en algo se diferenciaba de los modelos que antes describimos; su objeto era estudiar algunos de los meteoros de la lluvia de agosto, y temeroso por las descripciones que se leen en los libros sobre la dificultad de columbrar estos cuerpos rapidísimos, de no acertar en sus primeros ensayos, hizo lanzar, á algunos cientos de metros de distancia de su observatorio, varios cohetes; desde el primero pudo con toda facilidad enfilarlo con el espectroscopio, de igual manera que el cazador apunta con su escopeta á la infeliz avecilla; ni uno solo de los cohetes dejó de analizarse, si bien no hay que negar que al final era mayor la destreza que al principio. Concluída la provisión de cohetes, quiso la buena fortuna que se celebrase en Cádiz una gran fiesta pública, en la que por varios

días se quemaron vistosos fuegos artificiales; los elementos de las sales que entraban en su composición se determinaron con facilidad sorprendente.

A los pocos días principiaba la colisión de la Tierra con el enjambre meteórico y el compilador se hallaba bastante diestro en apuntar instantáneamente su espectroscopio á cualquier objeto, por veloz que fuese su movimiento. Las observaciones duraron desde las nueve de la noche del día 10 hasta las tres de la madrugada del 11; la aparición fué bastante lucida y todas las estrellas observadas pertenecían al grupo de las perseideas.

El número total de estrellas observadas con exactitud fué de 50; el espectro de 27 era continuo, y por lo general faltaba el violeta, ó cuando menos estaba mal definido. En el rastro de casi todas ellas se observó, no obstante, la raya amarilla del sodio, muy esplendente; el verde dominó en cinco y en una el azul. A la simple vista, esto es, al divisarlas antes de poderlas apuntar con el espec-

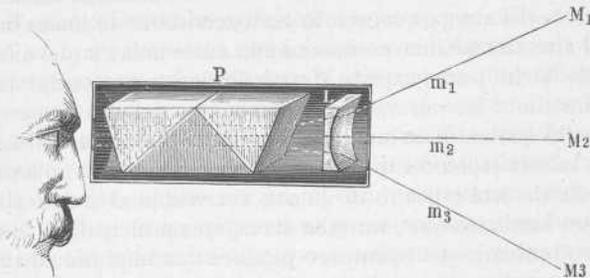


Fig. 211. - Espectroscopio de meteoros, de Browning

troscopio, era su luz blanca por lo común, y también verdosa; una sola manifestó tendencia al color azul.

Entre todas ellas fué notabilísimo un bólido bastante hermoso que apareció á 10^h 17^m 5^s, cuyo rastro duró 1^m 30^s; presentó un espectro de absorción en el que dominaba el verde, con muchas rayas negras finísimas; faltaba el violeta; en el rastro se destacaba la línea amarilla y se vieron tres ó cuatro espectros superpuestos como producidos por distintos focos, pero en todos se percibía la línea amarilla. Esto parecía indicar que el bólido se partió en varios fragmentos y que los diversos trozos hechos gaseosos y brillantes formaron en el instrumento llamas distintas.

A los pocos meses debía de tener lugar la lluvia meteórica de noviembre y el observador pudo adquirir de nuevo cierta práctica gracias á los cohetes y otros fuegos de arteificio que todos los años se queman el día 1.º de noviembre en un templo católico al regreso de una procesión.

Las observaciones comenzaron el día 13 á las 11^h 3^m, terminando el 14 á las 4^h de la madrugada; en este intervalo se observaron 35 meteoros. En las otras noches de observación se aumentó este número á 44; las estrellas fueron por lo general débiles, de aparición breve y de carrera rapidísima. El resultado del análisis espectroscópico presentó bastante diferencia con el obtenido en agosto, pues la raya amarilla de las perseideas no apareció en las leónidas, al menos aisladas,

sino siempre en compañía del rojo y el verde, ora de este último no más, y también del rojo solo.

En todos los casos no faltó nunca en los rastros de las estrellas que presentaron líneas brillantes una raya verde, bien sola, ora asociada, como ocurrió en uno de los meteoros. De modo que la composición química de las estrellas fugaces de agosto y noviembre no es igual; en las primeras predomina el sodio y en las segundas el magnesio ó el bario. La línea verde única, de estas últimas, parece corresponder al espectro del talio.

Aunque estos meteoros son de origen terrestre y muy bien pudiéramos excusarnos de hablar de ellos en esta obra, creemos que el lector verá con gusto los resultados obtenidos de su examen espectroscópico.

Por la relación y enlace íntimo que hay entre el relámpago y la chispa eléctrica, pudiera anticiparse que un destello ó ráfaga de electricidad meteórica habría de presentar un espectro muy semejante al de la descarga eléctrica ordinaria que pasa á través del aire, y que, por lo tanto, constaría de líneas brillantes pertenecientes al aire atmosférico, predominando entre todas la del nitrógeno. Esto se demostró de hecho por el capitán Herschel durante una tempestad, en la que fueron numerosísimos los relámpagos, y con auxilio del espectroscopio de mano ya descrito, halló que entre las innumerables líneas brillantes visibles, la azul del nitrógeno era la más esplendente de todas, siguiendo luego la roja del hidrógeno *H alfa*; además de este espectro de líneas, era visible al propio tiempo un espectro continuo luminoso que mostraba los colores principales.

El espectro ordinario del relámpago produce una impresión de color verde y azul, ó más bien azul verdosa; pero como en las fulguraciones muy brillantes se perciben todos los colores prismáticos, pudiera suponerse que la parte comprendida entre las líneas E y F es mucho más brillante que el resto, y que por ello predominan, al parecer, estos colores en el espectro.

La variación de brillo relativo del espectro continuo y del espectro de líneas es muy sorprendente; á veces apenas son visibles las rayas, y en otros casos, excepción hecha de las líneas, no se percibe vestigio alguno de espectro.

La dificultad de distinguir las muchísimas líneas débiles se aumenta de un modo considerable por el carácter instantáneo del fenómeno; antes de que se haya podido escoger tal ó cual línea, la débil impresión causada en la retina ha desaparecido, y el recuerdo de la posición de la línea á medio determinar se borra antes de que aparezca otro relámpago, de modo que no queda norma ni tipo que pueda servir de punto de comparación.

Las observaciones más completas que hasta ahora se han hecho sobre el espectro de la luz de los relámpagos se deben al profesor Kundt, de Zurich, quien observó más de 50 apariciones luminosas de estos meteoros en distintas épocas, valiéndose de un espectroscopio de bolsillo; además del espectro de líneas brillantes, aparecía siempre otro formado por gran número de bandas débiles, poco más anchas que las líneas y dispuestas regularmente á intervalos iguales entre sí.

Las investigaciones de Kundt nos obligan á aceptar la conclusión de que la diferencia de los espectros de los relámpagos depende de la manera que tenga de descargarse la electricidad atmosférica, esto es, ó entre las mismas nubes, ó entre éstas y la superficie del suelo.

El espléndido fenómeno que ofrece la manifestación de una brillante aurora boreal va siempre acompañado por una perturbación mayor ó menor de la aguja magnética; así que por mucho tiempo se supuso que las auroras se producían por el paso silencioso de la electricidad á través de las porciones rarificadas de los estratos superiores de la atmósfera terrestre, esto es, por una especie de descarga eléctrica, semejante á la que tiene lugar en un tubo de Geissler lleno de aire muy rarificado.

Las observaciones espectrales de Angstrom sobre este fenómeno no confirman la conjetura anterior, pues el arco luminoso que rodea el segmento obscuro y que nunca falta en las auroras débiles, da un espectro de una sola línea brillante, situada á la izquierda del conocidísimo grupo del calcio en el espectro solar. Además de esta línea, comparativamente muy luminosa, observó Angstrom, con ranura más ancha, vestigios de tres bandas muy débiles que casi llegaban á la línea F de Fraunhofer; pero sólo en una ocasión aparecieron líneas tenues en esta zona, durante las ondulaciones del arco.

La luz de la aurora boreal, es, por lo tanto, casi homogénea ó monocromática. A estas observaciones, efectuadas en el invierno de 1867 á 1868, se une un interés particular, porque en la luz zodiacal observó Angstrom de Upsala la misma línea durante una semana completa, en el mes de marzo de 1867, en cuyo punto se vió con notable intensidad, para esa latitud tan elevada; en las noches despejadas en que las estrellas brillan mucho, y en que toda la bóveda celeste aparece como fosforescente, se perciben en el espectroscopio indicios de esta luz homogénea en el resplandor que proviene de todos los puntos del cielo.

La línea brillante mencionada, cuya posición se determinó por Struve con el número 1259 de la escala de Kirchhoff (entre D y E) con un error probable de diez ó quince unidades, corresponde, según Angstrom, á una longitud de onda de 0,0005567 de milímetro y no coincide con ninguna de las líneas conocidas de los elementos terrestres.

La hermosa aurora boreal que se manifestó el 12 de abril de 1869, visible en la Europa occidental, en Rusia y en la América del Norte, en cuya capital, Nueva-York, ofreció un espectáculo admirable, fué observada espectroscópicamente en este último punto por el profesor Winlock. En oposición á las observaciones de Europa, halló que el espectro consistía en cinco líneas brillantes, cuyas posiciones determinó según la escala de Huggins, y parecían corresponder á las divisiones 1280, 1400, 1550, 1680 y 2640. Las divisiones de la escala de Kirchhoff 1247, 1351 y 1473 corresponden á los tres primeros números.

El doctor Winder observó repetidas veces en la América septentrional el espectro de la aurora; en el amarillo se veía casi siempre una línea amarilla brillante, muy inmediata á D, pero menos refrangible y que coincidía con una de las líneas oscuras del grupo telúrico que aparece en el espectro solar, cuando el luminar del día se halla cerca del horizonte; además de esta línea, había otra más débil en el verde, y en una ocasión se percibió otra en el rojo.

La aurora boreal fué observada por Rayet y Soret el 15 y 16 de abril de 1869, percibiéndose en el espectro, con toda claridad, la línea auroral característica (longitud de onda 5567 diezmilionésimas de milímetro, Angstrom) y también las líneas atmosféricas.

Flogel examinó por medio del espectroscopio la aurora boreal que apareció el 6 de octubre de 1869; en esta ocasión también fué la luz de carácter homogéneo, si bien, abriendo moderadamente la ranura, mostró el espectro exclusivamente la línea amarilla característica, cuya posición se estimó que correspondía á la división 1230 de la escala de Kirchhoff. Cuando se ensanchaba la ranura hasta 1,3 milímetros, aparecía una luz verde muy débil, situada cerca de la F del espectro solar; no se pudo concentrar esta luz en una línea luminosa, por más que se estrechó la ranura; en la dirección del rojo no se distinguió esta débil luminosidad, lo que aleja la idea de que pudiera deberse á algún reflejo estelar que penetrase en el instrumento.

El espectro de la aurora fué examinado por Mr. Ellery, de Melbourne, el 5 de abril de 1870; las radiaciones rojas eran muy brillantes y emitían bastante luz (como para permitir la lectura de un diario); la más notable y brillante de las líneas del espectro era roja y más refrangible que C; en el verde se veían dos bandas en la posición de las rayas del calcio, y otra banda nebulosa más refrangible no se llegó á resolver en líneas. El segmento oscuro se apoyaba en el horizonte del mar; encima se veía un arco de luz auroral verdosa, y de su bien definido contorno arrancaban los rayos rosados dirigiéndose hacia el cenit.

La línea roja desaparecía en el momento en que se dirigía el espectroscopio á cualquier punto situado debajo del contorno indicado, y sólo permanecían las líneas verdes; la pérdida y reaparición de la línea roja era en extremo acusada, según que la ranura pasaba de la región roja á la del verde.

Esta misma aurora fué examinada por Schmidt en Lenepp (Provincias del Rhin). En este caso también constaba el espectro de una sola línea brillante y ancha, algo á la derecha de D hacia E, de intensidad variable, pues á veces decrecía mucho é inmediatamente brillaba con gran esplendor. En la vecindad de esta línea y extendiéndose hasta F, se veía una banda continua, que con gran frecuencia se resolvía en tres líneas luminosas, aunque más débiles que la primera.

En la noche del 24 al 25 de octubre de 1870 hubo una magnífica aurora boreal que fué visible en casi toda Europa, hasta en las latitudes más bajas, pues se observó desde el estrecho de Gibraltar; el fenómeno se reprodujo á la noche siguiente, aunque con menor intensidad, si bien manifestó lo que llaman en los países septentrionales la *corona auroral*, espectáculo en extremo raro; numerosos rayos rojizos partían desde el segmento oscuro en todas direcciones, para unirse en un punto situado al Sur del cenit; la mayor parte eran de un rojo carmesí, cruzados por líneas blancas, y convergían hacia el punto central mencionado, que conservó invariable su situación respecto del horizonte.

El profesor Forster, de Berlín, halló que el espectro de la aurora del 25 de octubre se componía únicamente de la misma banda estrecha amarillo-verdosa, cuya posición ya se ha indicado, y que no coincide con ninguna línea de los elementos terrestres conocidos. No obstante, en las porciones del cielo que á la vista parecían carecer de iluminación, revelaba el espectroscopio con toda claridad la línea característica de la aurora. El Dr. Tietjen afirma que algunas semanas antes, en el mismo Observatorio, en las noches en que no se percibía el menor vestigio de aurora, mostraba el espectroscopio la misma línea en varios puntos del cielo.

En la misma noche fué observada la aurora por Zöllner, en Leipzig, con un espectroscopio en miniatura de Browning, y obtuvo el espectro representado en la figura 212. Con objeto de reunir suficiente luz, ensanchó la ranura algún tanto razonable, y para conseguir una aproximación suficiente en la situación de las líneas de la aurora, produjo simultáneamente las del litio y el sodio por medio de una lamparilla de alcohol.

La línea 2 en la región verde del espectro es, con toda probabilidad, la línea característica de la aurora (1474 de Kirchhoff); la roja 1, en este caso también, sólo se veía con distinción cuando se dirigía el instrumento á las regiones del cielo que parecían de un rojo profundo, mientras que la raya verde 2 se veía con mucho brillo en todas las porciones de la aurora. En las regiones azules del espectro, las bandas débiles *alfa* y *beta* se veían alguna que otra vez; la más notable era *beta* por su anchura que se destacaba sobre el fondo iluminado.

Los observadores ingleses hablan de unas bandas brillantes cerca de F, mal definidas y en extremo débiles, y también de un espectro continuo que se ex-

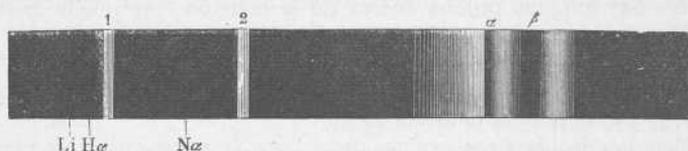


Fig. 212. - Espectro de la aurora boreal, según las observaciones de Zöllner

tendía de D á F; Zöllner, por el contrario, considera que estas bandas mal definidas en el azul son los restos del espectro continuo, que se rompe por las bandas oscuras de absorción *alfa* y *beta*.

Sólo después de haber desaparecido la aurora, pudo Zöllner observar con e mismo espectroscopio el espectro del hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y ácido carbónico de los tubos de Geissler; llegó este observador á convencerse, por las observaciones simultáneas que efectuó de los espectros del sodio y del litio, de que la línea roja de la aurora 1 no coincidía con las partes más brillantes del espectro de ninguno de estos cuatro gases.

Es más refrangible que la línea roja del hidrógeno H *alfa*, en la cual convienen también los observadores ingleses, y según Zöllner, pudiera estar situada muy cerca del grupo de rayas telúricas *a* del mapa de Angstrom, cuya longitud media de onda es de 0,0006279 de milímetro.

Como las líneas principales del espectro de la aurora boreal no coinciden con las de los espectros de los elementos terrestres, opina Zöllner que si la luz desarrollada por la aurora es principalmente de carácter eléctrico, análogo al de los gases rarificados que se iluminan en tubos, han de poseer una temperatura inferior á la que se necesita para hacer luminosos nuestros gases en los tubos de Geissler.

El espectro de la aurora boreal, por consiguiente, no coincide con ninguno de los espectros conocidos de los gases de nuestra atmósfera, porque es espectro de un orden particular que, hasta ahora, no se ha producido por medios artificiales.

Hace falta todavía medir con mayor escrupulosidad la posición de las diversas líneas del espectro de la aurora boreal, á diversas distancias del polo Norte, especialmente dentro del círculo polar, antes de que se pueda dar una explicación más completa del fenómeno.

Después de las observaciones sobre el espectro de la luz zodiacal efectuadas por Angstrom y otros, se ocupó particularmente del estudio de este fenómeno el profesor Wright, quien halló que la luz zodiacal está constantemente polarizada en un plano que pasa por el Sol, y dedujo, naturalmente, que emanaba de este astro y que nos es transmitida por reflexión en la superficie de los cuerpos sólidos extendidos por el espacio. Sus recientes observaciones publicadas en 1874 confirman esta manera de ver y establecen los hechos siguientes:

- 1.º El espectro de la luz zodiacal es continuo, y sensiblemente el mismo que el de la luz solar débil ó crepuscular.
- 2.º Ninguna banda ó raya brillante se reconoce como perteneciente á este espectro.
- 3.º No hay ninguna prueba acerca de la relación que pueda existir entre la luz zodiacal y las auroras polares.

No tenemos necesidad de enumerar las dificultades prácticas que tuvo que vencer el catedrático citado, para llegar á estudiar espectros tan débiles como los de la luz zodiacal y de la crepuscular.

La frecuente aparición en el espectro zodiacal de una banda brillante, que coincide en absoluto con la de la aurora boreal, parece indicar, á primera vista, que entre estos dos fenómenos hay cierta analogía. Después de un gran número de observaciones, llegó Mr. Wright á adquirir el convencimiento de que esta banda no se presenta más que cuando existe en el cielo una verdadera aurora, y que no pertenece, por consiguiente, al espectro de la luz zodiacal.

En contra de las observaciones de Wright pueden presentarse las efectuadas por Piazzi Smyth en Palermo, por el P. Secchi en Roma y por otros observadores. Según estos últimos astrónomos, el espectro de la luz zodiacal no está formado por rayas monocromáticas, en el sentido riguroso de la frase; se halla constituido por una banda azul verdosa, notablemente difusa, algo mejor terminada en el lado menos refrangible, sin que presente la menor relación con la de la aurora boreal, ni tampoco con la raya 1474 de Kirchhoff.

Se asemeja á todas las luces azuladas ó débiles, como la de los animales fosforescentes; éstas, reforzadas y analizadas con atención, dan colores débiles y un espectro continuo, pero como no podemos reforzar la luz zodiacal, hemos de contentarnos con analizarla tal y como ella es.

Lo que no se puede negar es que la banda de su espectro no se confunde con la de la aurora boreal, y tal vez Respighi y Angstrom tomaron por luz zodiacal la de alguna aurora difusa, que accidentalmente la acompañase.

ÍNDICE

DEL TEXTO CONTENIDO EN ESTE TOMO

Páginas

LIBRO TERCERO

LOS COMETAS Y LAS ESTRELLAS FUGACES

LA LUZ ZODIACAL

<i>Introducción.</i>	5
CAPÍTULO I. — <i>Astrología cometaria.</i> — Ideas de los antiguos sobre los cometas. — Los cometas en la Edad media.	7
- II. — <i>Astronomía cometaria.</i> — Progresos de la astronomía cometaria. — Descubrimientos de Newton. — Movimientos y órbitas de los cometas. — Cometas periódicos — Cometas interiores ó de corto período. — Cometas de período medio. — Cometas de período largo.	24
- III. — <i>Los sistemas cometarios.</i> — Número de cometas. Agrupaciones co- metarias. — Aspecto de los cometas — Formas diversas y dimen- siones de las colas cometarias. — Brillo de los cometas. — Trans- formaciones físicas de los cometas. — Masa y densidad de los cometas. — La luz de los cometas.	58
- IV. — <i>Teorías cometarias.</i> — Primeras hipótesis. — Hipótesis modernas. .	103
- V. — <i>Las estrellas fugaces.</i> — Descripción, aspecto y clasificación de las estrellas fugaces. — Teoría de las estrellas fugaces. — Bólidó: su aspecto; altura de la atmósfera deducida de la aparición de es- tos meteoros. — Uranolitos, su aspecto y composición química. — Caídas de uranolitos famosos. — Consideraciones sobre la teo- ría de las estrellas fugaces, los bólidó y los uranolitos.	115
- VI. — <i>La luz zodiacal.</i> — Aspecto de la luz zodiacal y circunstancias que acompañan su aparición. — Teorías sobre la constitución de la luz zodiacal.	141

LIBRO CUARTO

LAS ESTRELLAS Y LAS NEBULOSAS

CAPÍTULO I. — <i>Las estrellas á la simple vista.</i> — Número y magnitud de las estre- llas. — Las constelaciones. — Estrellas variables. — Estrellas nuevas ó efímeras.	147
- II. — <i>Las estrellas con el telescopio.</i> — Estrellas dobles y múltiples. — Cú- mulos de estrellas. — Distancias de las estrellas. — Movimientos propios de las estrellas.	167

CAPÍTULO III. - <i>Las nebulosas.</i> - Nebulosas estelares, planetarias y estrellas nebulosas. - Nébulas notables y de forma irregular. - La Vía láctea y los grupos de nebulosas. - Distribución de las nebulosas. - Fotografía estelar.	191
--	-----

LIBRO QUINTO

FENÓMENOS FÍSICO-ASTRONÓMICOS

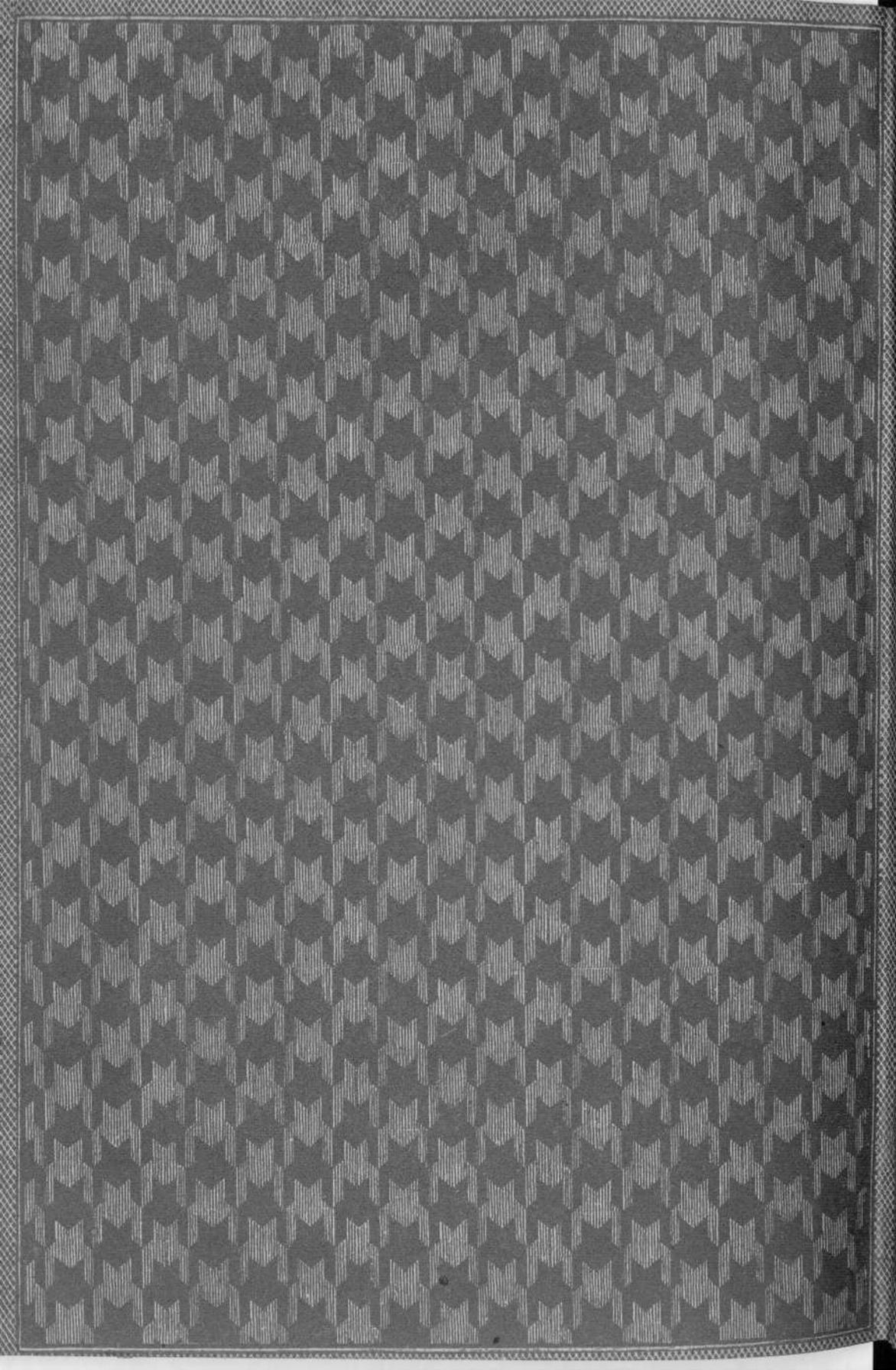
CAPÍTULO I. - <i>Las mareas.</i>	221
- II. - <i>Eclipses y ocultaciones.</i> - Teoría general de los eclipses. - Eclipses de Sol. - Eclipses de Luna. - Ocultaciones. - Eclipses de los satélites de Júpiter.	227
- III. - <i>Leyes y perturbaciones astronómicas.</i> - Variación secular de la oblicuidad de la eclíptica y nutación. - Aberración de la luz. - Sistemas astronómicos. - Pasos de Venus.	246
- IV. - <i>Gnomónica.</i> - Teoría y principios de los relojes de Sol ó cuadrantes solares. - Construcción y trazado de los cuadrantes solares.	264

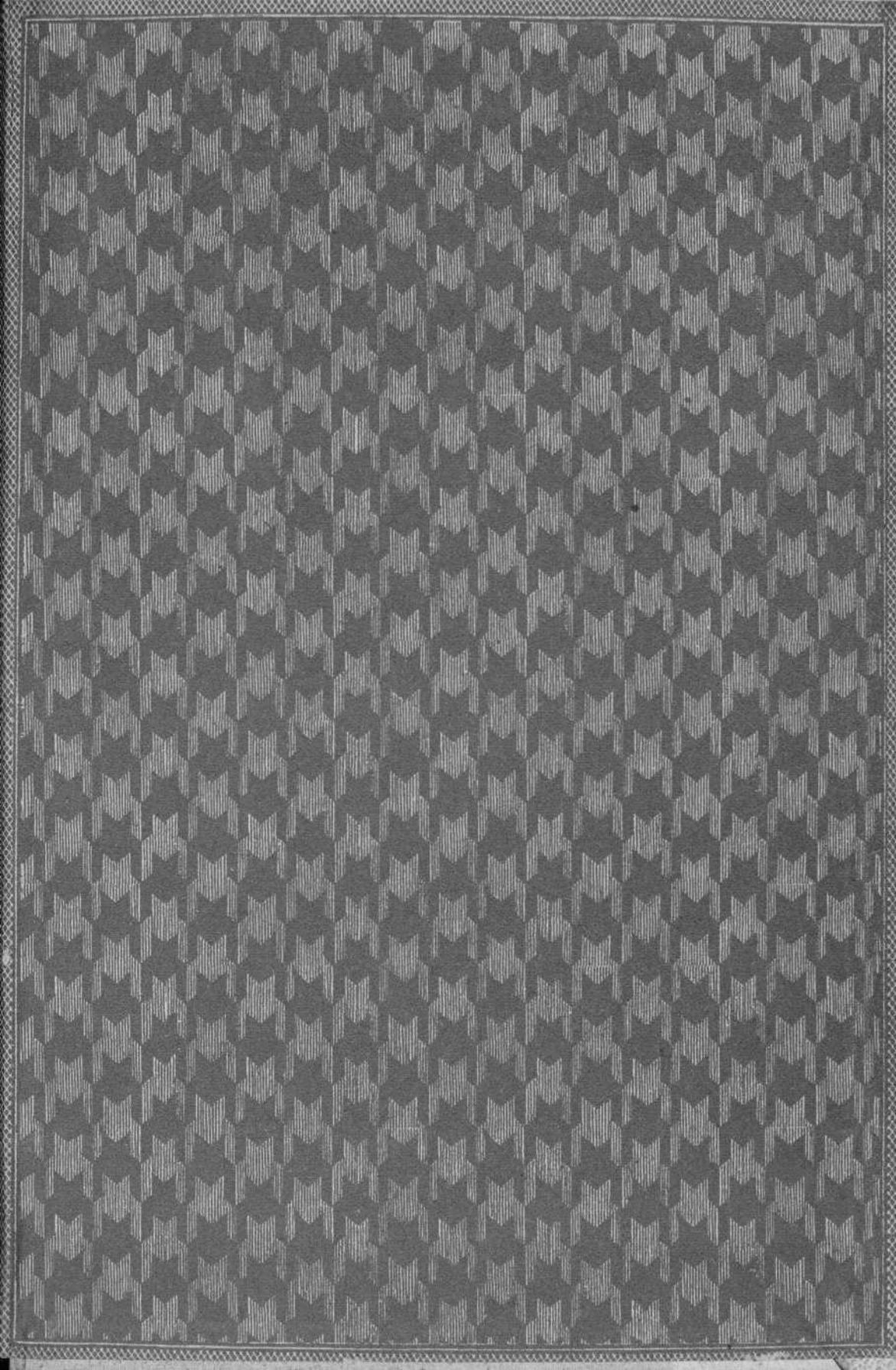
LIBRO SEXTO

EL ANÁLISIS ESPECTRAL

<i>Introducción.</i>	271
CAPÍTULO I. - <i>La luz.</i> - Analogía del sonido y la luz. - Propagación de la luz. - Refracción de la luz. - Dispersión de la luz.	273
- II. - <i>Espectrometría terrestre.</i> - El espectro solar y las rayas de Fraunhofer. - Espectroscopio simple. - Espectroscopio químico. - Diversas clases de espectros. - Inversión del espectro. - Líneas telúricas del espectro solar.	285
- III. - <i>Espectrometría astronómica.</i> - Tele-espectroscopios. - Análisis espectral de las manchas solares. - Análisis espectral de la Luna y los planetas - Observaciones espectrales de las protuberancias solares. - Estructura y modificaciones de las protuberancias. - Espectros de las estrellas fijas. - Espectro de las estrellas efímeras - Espectros cometarios. - Espectros de las estrellas fugaces.	302

ADVERTENCIA. - La lámina cromolitográfica que lleva el título de COMETA DE DONATI; VISTO EN PARÍS EL 4 DE OCTUBRE DE 1858, deberá colocarse enfrente de la portada.









ASTRONOMIA
POPULAR



CON ILUSTRACIONES
DE
D. OMAR

FA
10152

H. MIRALLES BARNA